

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Institutt for naturforvaltning

Masteroppgave 2015
30 stp

Effekter av årringbredde, bonitet og klima på egenskaper til konstruksjonsvirke av gran (*Picea abies* (L.) Karst.) fra Sør-Norge.

Effects of Annual Ring Width, Site index and Climate
on Properties of Structural Spruce (*Picea abies* (L.)
Karst.) timber from Southern Norway.

Andreas Sandnes Granli

Forord

Med denne oppgaven settes punktum for flere års høyere utdanning, og ikke minst to lærerike år med skogfag. Oppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, Institutt for naturforvaltning. Med undertegnede bakgrunn fra Vestlandet var det naturlig å velge en oppgave som går inn på vekst og virkesegenskaper.

Arbeidet er en del av prosjektet Trelast med høyere styrke og stivhet -*Tresterk*, og står for 30 studiepoeng. Tilknytningen til *Tresterk* har gitt tilgang på et omfattende datagrunnlag som ikke ville vært mulig uten prosjektet. *Tresterk* ble startet for å utvikle systemer for å produsere tømmer og trelast med høyere stivhet og styrke og samtidig øke trevirkes konkurranseevne mot andre byggematerialer. Arbeidet med studiene og masteroppgaven har vært utfordrende og lærerikt.

En stor takk rettes til ansvarlig veileder, professor Geir Isak Vestøl, ved institutt for naturforvaltning. Takk for gode innspill og støtte gjennom hele arbeidet. Jeg vil også takke doktorgradsstipendiat Carolin Fischer for å ha delt sine klimadata med meg. Samtidig vil jeg benytte anledningen til å takke engasjerte og gode forelesere og medstudenter som har vært med og gjort studietiden til den opplevelsen og erfaringen den har blitt.

Andreas Sandnes Granli

Ås, 12. mai 2015

Abstract

Density and mechanical properties in timber from Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) vary greatly both between stands and between trees, and this variation is related to the growth of the trees. This study investigates the effect of annual growth ring width, site index and climate on density, modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) of structural timber.

The growth ring data and age was measured on drilling cores taken at breast height from 205 trees from 14 sites in Southern Norway. These data were merged with data on density and bending properties of timber from the same trees, recorded in a previous study. Also climate variables obtained from Meteorologisk institutt were used. The tested climate variables were heatingdegreedaysum, monthly mean temperature and growingdegreedays. Data was analyzed with linear models at tree-level, and all the variables were treated as fixed effects.

Growth and development of Norway spruce was described using annual growth ring width and age. Annual growth ring width varied more in stands with high site index than in stands with low site index.

Annual growth ring width has a negative effect on density, MOE and MOR, but the additional effect of site index shows that stands of high site index can potentially produce timber with better wood properties than less productive sites, given equal growth ring width. Length of growth period best suited for modelling wood properties is dependent on site index. Among the tested fixed effects, i.e. annual growth ring width, latitude, climate and altitude, annual growth ring width was the most important effect on wood properties.

When combined with annual growth ring width, heatingdegreedaysum had a positive effect on MOR, while monthly mean temperature had a positive effect on density and MOE. Latitude and altitude explained more of the variation than the climate variables did. The only significant climate variable for timber properties in combination with latitude and altitude was heatingdegreedaysum, and it was only significant for MOR.

The effects are clear and the models can potentially be used to select trees with high density, MOE and MOR in stands. The models also give an indication of how silviculture can influence wood properties.

Sammendrag

Densitet og mekaniske egenskaper til trelast av norsk gran (*Picea abies* (L.) Karst) varierer mye både mellom trær og bestand, og denne variasjonen er knyttet til trærnes vekst. Denne studien ser nærmere på effekten av årringbredde, bonitet og klima på trelastegenskapene densitet, elastisitetsmodul (e-modul) og bøyefasthet.

Årringbredde og alder ble målt på boreprøver tatt i brysthøyde fra 205 trær fra 14 steder i Sør-Norge. Dette ble kombinert med densitet, E-modul og bøyefasthet til trelast fra de samme trærne, registrert i et tidligere studie. I tillegg ble det brukt klimadata fra Meteorologisk institutt. Klimaindikatorene som ble testet var energigradtallsum, månedlig gjennomsnittstemperatur og voksedaggrader. Data er analysert med lineære modeller på trenivå, og alle variablene er behandlet som faste effekter.

Vekst og utvikling hos norsk gran ble beskrevet ved hjelp av årringbredder og aldersbestemte prøver. Bestandene med høy bonitet hadde større variasjon i årringbredde enn lave boniteter.

Densitet, bøyefasthet og e-modul avtar når årringbredden øker, men tilleggseffekten av bonitet viser at høye boniteter kan potensielt produsere trelast med bedre egenskaper enn lave boniteter, gitt at årringbredden er lik. Lengden på årringintervallet som er best egnet til modellering er avhengig av boniteten. Korte årringintervall er viktigere på høye boniteter med høy vekst, lange perioder er viktig på lave boniteter med lav vekst. Av de faste effektene, årringbredde, klima, høyde over havet og breddegrad, viste årringbredde seg å være den viktigste effekten på de testede trelastegenskapene.

Energigradtallsum hadde positiv effekt på bøyefasthet, mens gjennomsnittlig månedstemperatur hadde positiv effekt på densitet og e-modul, når kombinert med årringbredde. Breddegrad og høyde over havet forklarte mer av variasjonen enn klimadataene. Energigradtallsum var den eneste signifikante klimavariabelen kombinert med breddegrad og høyde over havet, og den var bare signifikant for bøyefasthet.

Sammenhengene er klare og modellene kan potensielt benyttes for å velge ut trær med høy densitet, e-modul og bøyefasthet i skogen. Modellene kan også lære oss hvordan skogbehandling påvirker egenskapene i trelasten.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Abstract	2
Sammendrag	3
1.0 Innledning.....	5
1.1 Mål.....	10
2.0 Materiale og metode.....	11
2.1 Materiale.....	11
2.2 Densitet, e-modul og bøyefasthet.....	12
2.3 Metode.....	12
2.4 LAB arbeid.....	13
2.5 Databehandling.....	15
2.6 Analyser	15
3.0 Resultat.....	16
3.1 Bestandsutvikling	16
3.2 Effekten av vekst, klima og bonitet på virkesegenskaper.	24
3.2.1 Densitet	24
3.2.2 Bøyefasthet	28
3.2.3 E-modul	31
4.0 Diskusjon	35
4.1 Materiale	35
4.2 Årringbredde mot leveår	35
4.3 Bonitet og alder	36
4.4 Årringbredde og trelastegenskaper	38
4.4.1 Kvist og trelastegenskaper	39
4.4.2 Ungdomsved og trelastegenskaper.....	41
4.6 Klima, breddegrad og høyde over havet	41
4.7 Om modellene og anvendelse.....	43
5.0 Konklusjon	44
Litteratur.....	45

1.0 Innledning

I 2014 ble det i Norge hogd 9,8 millioner kubikkmeter tømmer for salg, hvorav sagtømmer av gran (*Picea abies* (L.) Karst) utgjorde 3,98 millioner kubikkmeter (SSB 2015). Markedet er allerede presset både når det gjelder pris og kvalitet på råvarer og produkt. I dagens marked belønnes skogeier for volum, mens sagbrukene opplever stadig større krav til kvalitet på produktene de selger. Råmaterialets egenskaper er derfor i fokus. Det blir viktigere og viktigere å forstå mekanismene bak utviklingen av trevirke i skogen. Både for å optimalisere skogbehandlingen, men også med tanke på bedre logistikk. I Norge benytter vi sagtømmer fra gran hovedsakelig i konstruksjonsøyemed, følgelig er styrken og egenskapene til trelasten ofte viktig. I følge Øvrum (2011) tilsier uoffisielle tall fra Norsk trelastkontroll at vel en tredjedel av all trelast i Norge blir styrkesortert. Styrkeegenskapene kan variere stort både fra tre til tre og mellom ulike voksesteder (Høibø & Vestøl 2010; Nagoda 1985). Denne studien vil se nærmere på sammenhengene mellom vekst, klima og granvirkes egenskaper.

Økt kunnskap om treets vekst og utvikling muliggjør et kvalitetsløft av råmaterialet og det ferdige produktet. Temaet veksthastighet og trevirkets egenskaper er derfor et mye diskutert tema i skogbruket og skogsindustrien. Spesielt fokus har det vært på blant annet tynning og gjødsling som begge henger sammen med veksthastighet, og dermed egenskapene til gran (Pape 1999; Jaakkola et al. 2005; Jaakkola et al. 2006; Mäkinen et al. 2007). Persson (1975) fant at økt diametervekst i forbindelse med tynning har virkning på densitet, sommervedandel, dannelse av kjerneandel samt utvikling av kvist.

En dårlig kvalitet har egenskaper som ikke passer vårt formål. Begrepet god og dårlig kvalitet kan derfor variere i betydning, avhengig av hva virket skal brukes til. I tømmer tiltenkt konstruksjon er densitet, bøyefasthet og e-modul de viktigste kvalitetsegenskapene til trelast (Høibø et al. 2014; Lei et al. 2005; Standard-Norge 2009). Derfor settes andre krav til konstruksjonsvirke enn det settes til for eksempel kledning hvor utseende veier tyngst. Trelast som skal brukes i konstruksjon må holde ønsket styrke.

Sammenhengene mellom årringbredde, klima og trelastegenskaper i gran kan kanskje benyttes til å finne eller skape de kvalitetene som er ønsket. Dette kan gjøres gjennom skogkultur eller gjennom aktivt å søke ut de bestandene eller trærne som er best egnet. Denne studien vil gå inn på hvordan årringbredde og klima påvirker densitet, e-modul og bøyefasthet til trelast. Dette er kunnskap som kan brukes for å øke kvaliteten i bestand, men også for å

finne trær med de kvalitetene som er ønskelig til spesielle prosjekt. På samme måte vil det være mulig for skogeier å få frem ønskelige egenskaper gjennom skogskjøtsel.

For å gi et riktig inntrykk av hvorfor det er viktig å studere sammenhengene mellom vekst og egenskaper, må det belyses hvor viktig egenskapene er. I Norge er det i dag vanligst at styrkesortering skjer mekanisk ved hjelp av styrkesorteringsmaskiner (Øvrum 2011), den vanligste maskinen er Dynagrade (Høibø et al. 2014). I kontrast til visuell sortering, bruker maskinen resonansen i, og lengden på planken for å predikere styrke. Lydens gang i materialet er avhengig av kvist og andre virkesfeil i planken. Styrkesorteringen er basert på prinsippet at lydshastigheten er avhengig av kvadratroten av forholdet mellom densitet og e-modul (Vestøl pers. med.). Kvist og densitet er korrelert, men fiberhellingen rundt kvisten gir en tilleggseffekt av kvist på e-modul. E-modul er den beste indikatoren for styrke og kan måles uten å skade materialet (Fewell 1982; Lei et al. 2005). Maskinen kalkulerer en indikator egenskap som i EN 14081-2 (Standard Norge 2010a). Slik sorteres materialet etter styrke, maskinelt og uten at prøver må ødelegges. For gran gir korrelasjonen mellom maskinens beregninger og styrkeegenskapene til trelasten en R^2 -verdi på om lag 0,5 (Larsson et al. 1998; Olsson 2012). Da prinsippene som nyttes for styrkesortering ikke er nøyaktige, har det vist seg å være vanskelig å forbedre sorteringen, og selv om mange studier er gjort på temaet er det fremdeles stor spredning i styrkeklassene (Vestøl et al. 2012). Blant annet har studier med røntgen (Brannstorm et al. 2007) og stokkens form (Jappinen & Beauregard 2000) blitt gjennomført for å øke nøyaktigheten i sorteringen. Blant andre Høibø et al. (2014) og Vestøl et al. (2012) har utviklet modeller basert på tre og bestandsdata for å forbedre styrkesorteringen av gran. Da tre- og bestandsdata tidligere er benyttet i forbindelse med styrkesortering er det interessant å se på sammenhengen mellom disse og egenskapene til trelasten.

Flere ulike metoder benyttes i dag for å finne eller predikere egenskapene i trevirket. Tidligere var visuell sortering eneste måte å sortere tømmeret i ulike klasser. Den visuelle sorteringen baserer seg på sammenhengen mellom virkesfeil, som kvist og fiberhelling, og styrkeegenskapene i trelasten (Høibø et al. 2014) og foregår etter INSTA 142 (Nordic-standard 2009). Denne metoden er nå langt mindre vanlig og i det store og hele erstattet med maskinell sortering. All maskinell styrkesortering skal foregå etter EN-14081-1-4 (Øvrum 2011).

Densiteten er en viktig egenskap i norsk gran da den er korrelert med treets mekaniske egenskaper (Vestøl et al. 2012). Både bøyefasthet og elastisitetsmodulen er avhengige av densitet (Bramming et al. 2006). Densiteten er også viktig for hvor godt innfestningsmidler sitter i trelasten, og det er derfor krav til densitet i NS-EN 338 (Standard-Norge 2009). Sammenhengen mellom densitet og årringbredde er allerede veldokumentert (Jaakkola et al. 2005; Pape 1999). Densitet, bøyefasthet og e-modul er følgelig delvis korrelert med hverandre. Vårveden har tynnere cellevegger enn sommerveden og er følgelig hverken like tung eller sterk som sommerveden (Treteknisk 2009). Uforholdsmessig mye vårved i forhold til sommerved vil derfor virke negativt på styrke og densitet. Maskiner som måler og tar hensyn til densitet i tillegg, gir derfor noe høyere sikkerhet i målingene (Ranta-Maunus 2009), men det er fremdeles rom for forbedringer. Usikkerheten i styrkesorteringen fører til at vi ikke kan utnytte tømmerets fulle potensiale. I følge Fjeld (2012) er den gjennomsnittlige bøyefastheten til trelast, i Norge, på mer enn 40 N/mm^2 . Dette står i skarp kontrast til at den høyeste styrkeklassen vi bruker i Norge i dag er C30, hvor kravet er 30 N/mm^2 (Øvrum 2011). Bakgrunnen for dette er den store variasjonen, ikke bare mellom regioner, men også mellom individuelle trær. De ulike styrkeklassene finnes i NS-EN 338, med tall for densitet, e-modul og bøyefasthet (Standard-Norge 2009).

Grunnet faktorene bonitet, temperatur i vekstsesongen og skogkultur, vil forholdet mellom densitet og kvist variere fra tre til tre og mellom bestand (Høibø et al. 2014). Den generelle densiteten i trær bestemmes av gener, vekstrate og aldring av kambium (Saranpää 2003). I følge Pape (1999) viste Klem (1934) at årringbredde er negativt korrelert med densiteten i gran. Dette har senere blitt vist og bekreftet av flere (Danborg 1994; Madsen et al. 1978). Jaakkola et al. (2006) fant, i et tynnings- og gjødslingseksperiment med gran, at økt årlig vekst fører nedgang i densitet, men at nedgangen var svært lav målt mot den økte veksten. Effekten er størst for vårved, som øker proporsjonalt med årringbredden når veksthastigheten øker (Jaakkola et al. 2006). Høibø et al. (2014) viste at e-modul og bøyefasthet er positivt korrelert med densiteten og negativt påvirket av kvist. Handler & Jacobsen (1986) viste at diameterveksten øker når planteavstanden øker. Følgelig påvirkes densiteten negativt. Høibø (1991) viste at økt planteavstand fører til økt kviststørrelse for gran. Da årringbredde er negativt korrelert med densitet og positivt korrelert med kvistdiameter er det forventet at E-modul og bøyefasthet påvirkes negativt av rask vekst (Vestøl et al. 2012). Det er derfor svært vanlig å benytte årringbredde for å predikere densitet og andre egenskaper (Wilhelmsson et al. 2002; Pape 1999). Følgelig er en lavere vekstrate forbundet med høyere styrke, gitt lik

bonitet. Forholdet mellom vekstrate og styrke påvirkes av blant annet, klima. Mildere klima fører til bedre styrkeegenskaper gitt at veksten holdes konstant (Wilhelmsson 2001; Watt et al. 2006). Da kvistutvikling og årringbredde er nært knyttet til utviklingen i bestandet er det viktig å se på utviklingen på de ulike prøveflatene.

De viktigste vekstfaktorene er tilgang på lys, vann og næring (Fritts 1976). I tillegg er klima på voksestedet og været det aktuelle året viktig for hvordan den årlige veksten utvikler seg (King et al. 2013). Gran kan aldersbestemmes ved å telle antall årringer (Fritts 1976) og variasjonen i årringenes bredde gir i stor grad informasjon om klima i det aktuelle året (Fritts 1976; King, Et. Al 2013). Den årlige veksten er følgelig et produkt av flere faktorer. I tillegg til miljø legger genetikk føringer for hvordan treet vil vokse og utvikle seg (King et al. 2012). Treets vekst er viktig for de indre egenskapene i gran. Klima bør derfor være en godt egnet faktor i egenskapsmodeller for gran. Da klima på voksestedet er viktig for treets vekst er det naturlig at klima også er viktig for de indre egenskapene i treet. Klima styrer når på høsten treet slutter å vokse og hvor lenge det kan produsere sommerved (Vestøl pers. med.).

Temperatur er en viktig del av klimaet og en viktig faktor for vekst hos gran. Tidligere har Ericson (1960) funnet at densitet kan forklares ved gjennomsnittlig årringbredde og gjennomsnittstemperatur fra juni til august. Wilhelmsson (2001) fant en positiv korrelasjon mellom temperatursum og densitet i norsk gran, og en negativ effekt av breddegrad og høyde over havet på densitet. Watt et al. (2006) viste at den årlige gjennomsnittstemperaturen også er signifikant for elastisitetsmodulen. Sammenhengen mellom høyde over havet, breddegrad og densitet kan trolig knyttes til forskjeller i klima og det kan følgelig ventes en positiv korrelasjon mellom klima og densitet. Nordligere og høyereliggende bestand har kortere vekstsesong på grunn av lavere temperatursum. På et punkt vil den korte og ugjestmilde vekstsesongen hindre treet i å produsere like mye sommerved samt at densiteten i sommerveden blir lavere enn hos et raskere voksende tre (Treteknisk 2009). Dette påvirker forholdet mellom årringbredde og densitet (Wilhelmsson et al. 2002) slik at man må ha mindre årringbredde for å oppnå samme densitet i et kaldere klima.

Høyere temperatur er bare positivt til et visst punkt. Koprowski (2013) studerte provenienser av norsk gran som vokste utenfor sitt område og fant at effekten av temperatur var variert, og at for høy temperatur i sommermånedene virket negativt på veksten. I vårt nordlige klima er sjelden for høye temperaturer et problem for trærnes vekst. Gitt lik veksthastighet, er det derfor ventet at bestandet med de beste klimatiske forholdene vil ha høyere densitet og høyere

styrke. Kaldere klima vil altså gi tettere årringer, men ikke nødvendigvis høyere densitet enn raskere voksende trevirke.

I tillegg er det påvist en negativ sammenheng mellom bøyefasthet og raskere vekst (Høibø et al. 2014). For trær på ulike boniteter, men med samme veksthastighet er det likevel forventet at treet på den beste boniteten får de beste egenskapene. Dette kommer av at treet på den bedre boniteten har tilgang på mer næring enn artsfrenden på den dårligere boniteten. Videre er det gitt forholdet mellom densitet og styrke, at klima vil ha en lignende effekt på styrke som Wilhelmsson (2001) fant for densitet, men styrken påvirkes også mer av kvist enn densiteten.

Treet utvikler ulike virkesegenskaper avhengig av hvor i treet og hvilken vekstfase veden er i. Vanligvis deles veksten inn i to kategorier. De første årene dannes det ungdomsved, som generelt karakteriseres som mindre stabil enn ved som dannes lenger ut i trets livsløp. Denne veden er mer utsatt for krymping og svelling i lengderetningen da mikrofibrillene i celleveggen har større vinkel i forhold til lengderetningen. Høy mikrofibrill vinkel i forhold til lengderetningen i veden påvirker krymping og svelling og i mindre grad stivhet og styrke (Andersson et al. 2000). Tidligere har Pape (1999) og Danborg (1994) vist at densiteten i gran er på sitt laveste i ungdomsveden, følgelig bør både e-modul og bøyefasthet være lavere i ungdomsveden enn i resten av treet. Denne perioden i trets liv defineres vanligvis, noe varierende, som de første 10 til 20 årene (Wilhelmsson et al. 2002; Jaakkola et al. 2005). Danborg (1994) fant at grensen mellom ungdomsved og moden ved var den tiende årringen, densiteten tatt i betraktning. I følge Pape (1999) fant Olesen (1977) at denne grensen lå mellom den femtende og tjuende årringen fra marginen. På bakgrunn av disse egenskapene er det allment anerkjent at det ikke er ønskelig med rask vekst de første 10-20 årene, siden man ønsker å begrense effekten av ungdomsveden i materialet. Rask vekst i denne perioden vil føre til at ungdomsveden utgjør en større del av stammen. Da ungdomsveden har fått så mye fokus i flere rapporter, samt at veksten i denne perioden gir mye informasjon om vekstbetingelsene i bestandets tidlige liv, er det også på sin plass å vurdere også denne kortere perioden som forklaringsvariabel mot trevirkets egenskaper. Samtidig er det også interessant om kortere eller lengre vokseperioder er viktige avhengig av boniteten.

Økt kvistdiameter assosieres normalt med lavere antall trær per dekar og rask vekst.

Lindström (1996) fant at veksthastighet påvirker egenskapene til treet, men at utviklingen av trets krone er vel så viktig. Bestand utvikler seg ulikt avhengig av voksested og

foryngelsesmåte. Et plantet tre vil neppe utvikle seg på samme måte som et tre som har sådd seg fra nærliggende trær. Når et bestand plantes, settes det ut et bestemt antall trær pr. dekar, dermed kan vi styre hvor mye kvist som får utvikle seg. Etter som bestandet slutter seg skjer det en naturlig oppkvisting av stammen. De nederste kvistene får gradvis mindre lys og de dør og tørker inn. I tette bestand er den gjennomsnittlige kviststørrelsen generelt mindre enn hos trær som får utvikle seg fritt. Samtidig er andelen tørr kvist større i de tette bestandene. Da kvisten ikke får plass til å utvikle seg, blir kroneandelen lav sett i forhold til treets størrelse. Treets vekst er avhengig av tettheten i bestandet (Langsæter 1941). Tette bestand vokser saktere og produserer mindre kvist (Langsæter 1941). Når kronen blir mindre enn dette klarer ikke treet å opprettholde veksten på tidligere nivå. Følgelig reduseres den årlige veksten. Kvist er en viktig faktor for styrke, men i denne studien er årringer og klima fokus.

Trærne som har kommet opp i skyggen av andre trær har ofte hatt dårlig lystilgang og konkurranse om næringen fra de større trærne (Hågvar & Tveite 2011). Tilveksten hos slike trær holdes jevnt lav av skyggen fra de større trærne i bestandet (Stancioiu & O'Hara 2006). I tillegg er det oftest mindre barmasse på undertrykte trær i granbestand (Hågvar & Tveite 2011). Disse trærne har derfor en ofte jevnere og lav tilvekst (Hågvar & Tveite 2011), hvor man ikke ser noen vekststopp som hos plantede trær. Veksthastighet og følgelig trevirkets egenskaper kan, til en viss grad, styres gjennom skogkulturtiltak som tynning (Madsen et al. 1978). Ved aktiv skogkultur kan vi øke eller holde veksten ved like gjennom økt tilgang til næring, lys og vann (Jaakkola et. Al 2006). Slike tiltak vil kunne holde veksten relativt stabil gjennom livsløpet eller føre til en vekstøkning i siste halvdel av livsløpet. Disse sammenhengene gjør det relevant å rette oppmerksomhet også mot veksten og utviklingen til trærne på de ulike prøveflatene.

1.1 Mål

Målet med denne studien er å se nærmere på forholdet mellom virkesegenskaper i norsk gran, årlig vekst og klimafaktorer. Målet for arbeidet er å studere årringutviklingen for ulike bestand, samt å undersøke sammenhengen mellom årringbredde, klima og egenskapene densitet, E-modul og bøyefasthet i norsk gran. I tillegg blir det undersøkt om egenskapene til trelast fra trær på ulike boniteter, eller i ulike aldersklasser, påvirkes av veksten i ulike perioder i livsløpet.

2.0 Materiale og metode

2.1 Materiale

Materialet er samlet fra 14 ulike lokaliteter i Sør-Norge, øst for Langfjella, fra Frosta i Trøndelag til Birkenes i Agder. I alt er det tatt boreprøver fra 210 forskjellige trær, av disse er 205 inkludert i dette arbeidet. Lokalitetene dekker høydegradienten fra 100 til 845 meter over havet, se tabell 1. Jeg har ikke vært delaktig i denne prosessen. For metode for datainnsamling samt utarbeiding av treparametere se *Modeling Density and Mechanical properties in Norway Spruce (picea abies (L.) Karst) by Forest Inventory Data*, Aanerød (2014). Tall for bøyefasthet, e-modul og densitet er følgelig de samme brukt og utredet av Aanerød (2014). Trelasten ble testet i henhold til NS-EN408 (Standard-Norge 2010b) og verdiene er korrigert i henhold til NS-EN384 (Standard-Norge 2010c). De fleste av de utvalgte bestandene var nær hogstmodenhet og allerede bestemt avvirket. Representative boniteter er etterstrebet for områdene, dermed fikk datasettet god spredning med hensyn til vekst. Selv om det ble lagt føringer for utvelgelsen av bestand, er det lagt vekt på tilfeldig utvalg innen bestand som oppfyller kriteriene. Tre som viste seg å ha feil som råte eller lignende under felling ble forkastet og det ble valgt et nytt tre til erstatning. Trær med diameter i brysthøyde over 15 cm ble valgt til prøvetrær. Det var en del spredning i alder innen bestandene. Dette knyttes først og fremst til gamle overstandere og trær som har kommet til senere i omløpet, se tabell 2.

Tabell 1 Beliggenhet, bonitet og antall for alle prøvetrær, fordelt på lokalitet.

Stedsnavn	N trær	Breddegrad	Lengdegrad	Gj.snitt.alder i B.høyde	Bonitet H40	H.o.h (m)
Begnadalen	15	60.64	9.8	89	11	544
Birkenes	13	58.29	8.2	104	14	170
Etnedal	14	61.06	9.54	71	11	845
Froland	15	58.53	8.46	58	20	210
Frosta	15	63.65	10.91	102	14	100
Hurum	15	59.64	10.45	42	26	150
Lier	15	59.86	10.33	61	17	380
Rødberg	14	60.26	8.94	108	8	800
Stange	15	60.53	11.37	48	17	370
Toten	15	60.66	10.89	94	17	220
Tretten	15	61.31	10.24	106	14	630
Trondheim	15	63.35	10.25	104	14	150
Ulsberg	15	62.75	9.99	110	11	470
Veggli	14	60.04	9.11	114	11	700

Tabell 2 Minste registrerte alder, gjennomsnittlig alder og høyest registrerte alder for hvert bestand. Alle målt i brysthøyde.

Stedsnavn	Min. alder	Gj.snitt	maks. alder
Begnadalen	54	89	155
Birkenes	70	104	123
Etnedal	60	71	99
Froland	46	58	63
Frosta	62	102	158
Hurum	38	42	46
Lier	47	61	84
Rødberg	85	108	132
Stange	38	48	55
Toten	86	94	103
Tretten	92	106	119
Trondheim	76	104	150
Ulsberg	96	110	127
Veggli	79	114	154

2.2 Densitet, e-modul og bøyefasthet

Densitet, e-modul og bøyefasthet ble testet og registrert av Aanerød (2014). Lokal e-modul og bøyefasthet er testet etter NS-EN 408:2010 (Standard Norge 2010b). Prøvene ble testet på en presse med fire kontaktpunkter, der lasten ble fordelt symmetrisk over prøven. E-modulen ble oppgitt i kN/mm^2 , mens bøyefastheten er oppgitt i N/mm^2 . Prøvenes densitet ble målt etter at e-modul og bøyefasthet var målt. Densiteten ble målt på hele tverrsnitt som ble tatt nærmest mulig bruddstedet. For å bestemme densiteten ble ISO 3131 benyttet (International-Standard 1975). Målingene ble gjort med fuktighetsinnholdet ved testtidspunkt og senere korrigert til 12 % fuktighet i henhold til NS-EN 384:2010 (Standard Norge 2010c). Densiteten ble oppgitt i kilogram per kubikkmeter trevirke.

2.3 Metode

Datamaterialet er samlet inn i forbindelse med prosjektet Tresterk. Datainnsamlingen til denne oppgaven har hovedsakelig handlet om måling av årringbredde på innsamlede boreprøver. De 205 tilgjengelige prøvene er alle målt og registrert. Datasettet skulle inneholdt 210 trær, men en pakke med trelast kom bort ved et av sagbrukene. De 5 manglende trærne er ikke registrert med årringbredde, tabell 1. Følgelig er data fra 205 trær, med tilhørende data på densitet og styrke grunnlaget for denne studien. Boreprøvene ble tatt i brysthøyde etter gjeldende praksis. Samtlige prøver er derfor fra friske trær med normale forutsetninger for

vekst og utvikling. Prøvene ble nedfrost i fuktig tilstand og ble tint i vannbad før måling. Årringbredden ble da tilnærmet lik som da prøven ble tatt fra treet.

Da Ericson (1960) og Wilhelmsson (2001) tidligere har benyttet temperatur som eneste klimavariabel benyttes temperatur som klimaindikator også i denne studien. Carolin Fischer, doktorgradsstipendiat ved Institutt for naturforvaltning, fremskaffet klimadata for de aktuelle feltene, se tabell 3. Klimadataene er opprinnelig innhentet fra meteorologisk institutt. Dataene består av tre ulike parametere og er spesifikke for hver lokalitet. De tre ulike klimafaktorene bygger alle på temperatur. Den første er data for månedlig middeltemperatur gjennom hele året. I tillegg er antall voksedaggrader definert som antall dager med middeltemperatur > 5 varmegrader, multiplisert med middeltemperaturen. Energigradtallsum er definert som summen av grader under 17 °C, kun talt på dager med middeltemperatur under 10 °C.

Tabell 3 Klimadata for de ulike lokalitetene

Lokalitet	Energigradtall sum	Voksedag grader	Gj.snittlig. Månedstemp
Frosta	3912	1127	5,28
Tretten	5392	994	1,31
Toten	4327	949	4,25
Stange	4730	997	3,02
Rødberg	4992	1068	2,38
Veggli	4793	1096	2,95
Lier	4157	974	4,71
Froland	3579	1077	6,34
Birkenes	3465	1128	6,63
Trondheim	3924	1165	5,24
Ulsberg	5104	1124	2,31
Etnedal	6197	921	-0,62
Begnadalen	5265	1000	1,58
Hurum	3847	939	5,73

2.4 LAB arbeid

Måling av boreprøver er gjort på et Rintech målebord av typen *LintabTM6 Tree-ring station*, med tilhørende mikroskop med retikkel. Softwaren TSAP-Win, utviklet av Rintech, er tilknyttet målebordet og registrerer en årring for hvert trykk. Årringene er målt i hundredels millimeter. Siktetmidler i mikroskopet gjør det mulig å holde nøyaktigheten på målingene på $\pm 1/100$ mm. Ved å fokusere mikroskopet, underveis i målingen, forskyves trådkorset i forhold til prøven. Dette må det kompenseres for ved å flytte på prøven for hver gang man må

fokusere. Forsøk underveis viste at trådkorset flyttet seg omlag 20/100 millimeter ved fokusering og endring av førstørrelse. All innstilling av målebord og mikroskop er derfor gjort før årringene måles og telles.

Det aktuelle målebordet tillater kun bevegelse fra side til side, rotasjon av bordet er ikke mulig. Hver prøve måtte derfor vris opp på bordet for å holde målingene vinkelrett på årringene. Prøvene ble satt fast i en fjærbelastet, avlang tvinge som er ment for formålet og som ligger fritt på bordet. Tvingen gir tilstrekkelig stabilitet og tyngde til at prøvene kan vris og flyttes med relativt høy presisjon. Prøvene ble ikke justert under måling av en ringbredde, der all justering ble gjort før man begynte på ny ring. Justeringen kan kun gjøres nøyaktig med kanten av en årring som referanse for trådkorset. Årringene ble registrert fra marg mot bark, da behovet for å feste informasjonen til et stadium i treets liv fremfor et spesifikt år er prioritert i denne studien.

Manglende årringer inne ved marginen ble estimert gjennom bruk av gjennomsnittlig første årringbredde fra andre trær i bestandet, samt de første tilgjengelige årringene på den aktuelle prøven. Disse estimerte årringene gjelder høyst de to første årringene. For prøver hvor kun marginen manglet ble det slått en sirkel med tilsvarende bue som grensen til første årring, og radien i denne ble satt til bredden av første årring. Denne metoden begrenset seg til prøver med god vekst i første årring siden mindre enn tre millimeter radius er ikke nøyaktig ved bruk av passer. For prøver hvor kun marginen manglet, men hvor det var for lite av neste årring til å finne radius, ble det andre leveåret satt som første. Da potensielle feil er større for estimerte bredder ble disse ikke benyttet under modellering av trevirkets egenskaper. Alle prøvene det ble estimert to årringer for kommer fra trær det ikke finnes styrkedata for. Totalt 17 prøver krevde estimering av de første årringene, der det av disse styrkedata for 13.

Prøver med ru overflate og utydelige årringer ble pusset med en skalpell, dette ga en jevnere overflate og tydeligere overgang mellom årringene. Lang lagringstid av materialet har ført til at noen prøver er borte, mens andre ikke er komplette. Lengre tids lagring har ført til at noen få prøver har knekt og barken er falt av. Typisk faller barken av for seg selv, mens det i noen tilfeller er registrert at en til to årringer faller av sammen med barken. Ved forsvunnet bark ble det ikke gjort estimering av mulig forsvunnet ved. Eventuelle feil eller mangler i prøvene ble notert underveis for etterkontroll.

2.5 Databehandling

Data lagres direkte i .CSV format fra TSAPWin programvaren. Data lagret som tekst med kommaskilletegn kan åpnes direkte i Excel og konverteres tilbake fra tekst til kolonner. Årringene arrangeres fra siste til første årring fra målebordet. Datasettet sorteres derfor i kronologisk rekkefølge, slik at den første årringen i brysthøyde defineres som første leveår. Etter at alle bestandene var sortert og samlet i en fil, ble denne importert til Jmp for videre behandling. Jmp ble benyttet for å danne gjennomsnittstall for ulike årringintervall samt videre statistiske analyser. I tillegg til gjennomsnittlig årringbredde for hele livsløpet ble gjennomsnittstall laget for de første 15, 5-20, 20, 30, 40, 50, 65 og 80 år.

2.6 Analyser

En enkel bivariate – analyse ble gjort for hvert bestand. Denne viser trærnes gjennomsnittlige vekst for hvert leveår og illustrerer utviklingen fordelt på bestand. Det ble satt som et krav at hvert gjennomsnittstall skal bygge på observasjoner fra minst 10 trær, det siste leveåret i figuren er derfor det siste hvor årringer fra minst 10 trær inngikk i gjennomsnittet.

Gjennomsnittsverdiene for densitet, e-modul og bøyefasthet fra trelasten til hvert tre ble benyttet i modelleringen. Datasettet Aanerød (2014) benyttet var oppdelt etter plank, dette datasettet er, ved hjelp av gjennomsnitt for all plank, omgjort til å gjelde på trenivå.

Analysene ble utført i JMP 11 (SAS Institute Inc.). Da ulike årringintervall kan ha effekt avhengig av bonitet og alder, ble det gjort ulike utvalg i datamaterialet ved «subset-funksjonen» i Jmp. Det ble gjort et utvalg, hvor alle bestand med boniteringsalder under 90 år ble en gruppe og alle bestand med boniteringsalder over 90 år ble en gruppe. Bestandene ble i tillegg gruppert etter bonitet, det ble da mulig å teste om effekten av årringbredde er ulik for gode voksesteder sammenlignet med dårligere voksesteder. Datasettet ble delt inn i tre grupper, etter bonitet. Boniteten var registrert etter H40-systemet. Gruppene var lav (G8-11; n= 71), middels (G14-17; n= 102) og høy (G20+; n= 30). Med bonitet fra G8 til G11 falt bestandene fra Begnadalen, Rødberg, Ulsberg, Etnedal og Veggli inn under gruppen med lav bonitet. Bestandene Birkenes, Frosta, Lier, Stange, Tretten, Toten og Trondheim utgjorde gruppen med middels bonitet, alle mellom G14 og G17. Froland og Hurum utgjorde gruppen med høy bonitet, henholdsvis G20 og G26.

Begge inndelingene ble testet hver for seg i Jmp. Det ble gjort analyser for responsvariablene: densitet, bøyefasthet og e-modul mot ulike årringintervall som forklaringsvariabler. Bonitet viste seg å være en mer pålitelig inndeling med høyere signifikans enn modellene inndelt etter

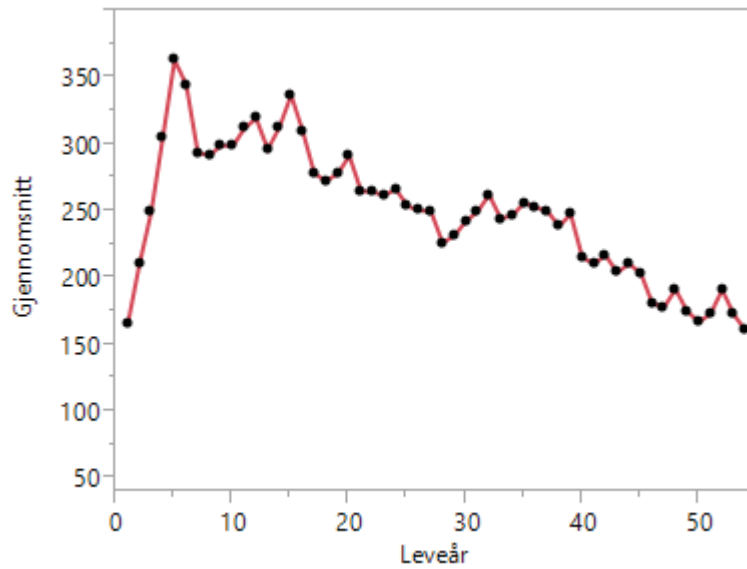
alder. Inndelingen etter alder ble derfor forkastet. Sluttmodellene ble satt opp med ett årringintervall, en klimavariabel og en til to voksestedsvARIABLE (moh., lengdegrad), for alle tre responsvariabler, for hvert av utvalgene. Årringbredde, månedlig gjennomsnittstemperatur, energigradtallsum, voksedagsgrader, høyde over havet og breddegrad ble benyttet som forklaringsvariabler. Faktorene med høyest forklaringsgrad ble valgt ut, de andre ble forkastet. Variablene og faktorene som viste seg signifikante, for de individuelle bonitetsklassene, ble deretter brukt til å modellere virkesegenskaper med hele datasettet.

Ulike årringintervaller forklarer variasjonen best, avhengig av bonitetsklasse og disse årringintervallene ble brukt videre i modelleringen av egenskapene til trelasten. For hver egenskap ble det satt sammen en ny kolonne med årringbredde. Denne ble satt sammen av de årringbreddene som best forklarte egenskapene i de ulike bonitetsklassene. I denne fasen ble det ikke satt krav til signifikans, men heller at det aktuelle intervallet måtte være det som enten gav høyest signifikant eller nærmest signifikant sammenheng. Lineære modeller ble brukt og faktorene, som sammen gav høyest grad av forklaring, ble satt sammen til den endelige modellen for hver egenskap.

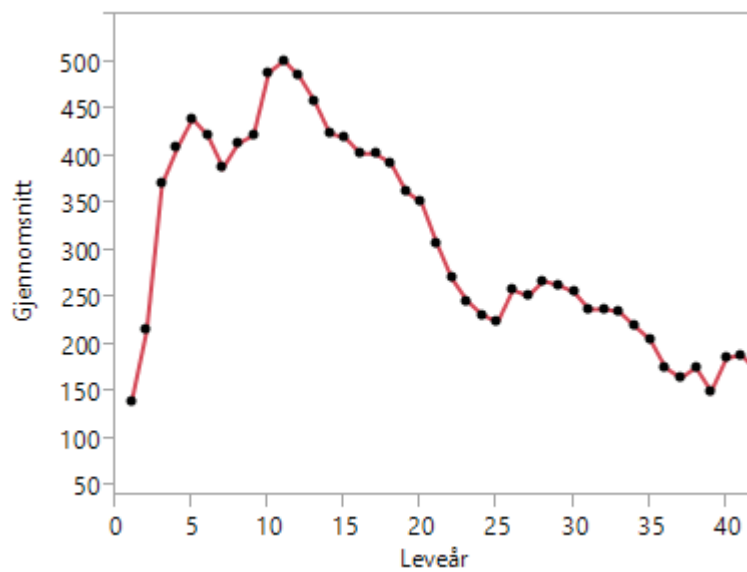
3.0 Resultat

3.1 Bestandsutvikling

Figur 1, 2, 3, 4 og 5 viser gjennomsnittlig årringutvikling for henholdsvis Hurum, Etnedal, Froland, Begnadalen og Stange. Merk at de første årringene er små, men øker for hvert år. Deretter går det over i en periode hvor trærne har godt med plass og diametertilveksten er på sitt største, før det til slutt blir konkurranse om lyset og tilveksten avtar. Utviklingen er forventet av trær som har god plass og lystilgang i etableringsfasen og som gradvis blir tettere. Bestandene i Froland og Hurum har gode vekstvilkår med bonitet på henholdsvis 20 og 26, der voksested er på henholdsvis 210 og 150 meter over havet.



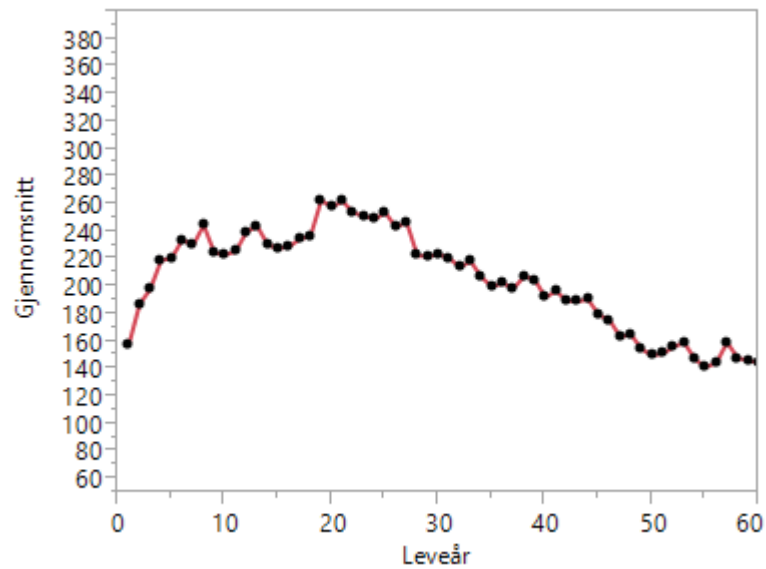
Figur 1 Hurum bestand, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.



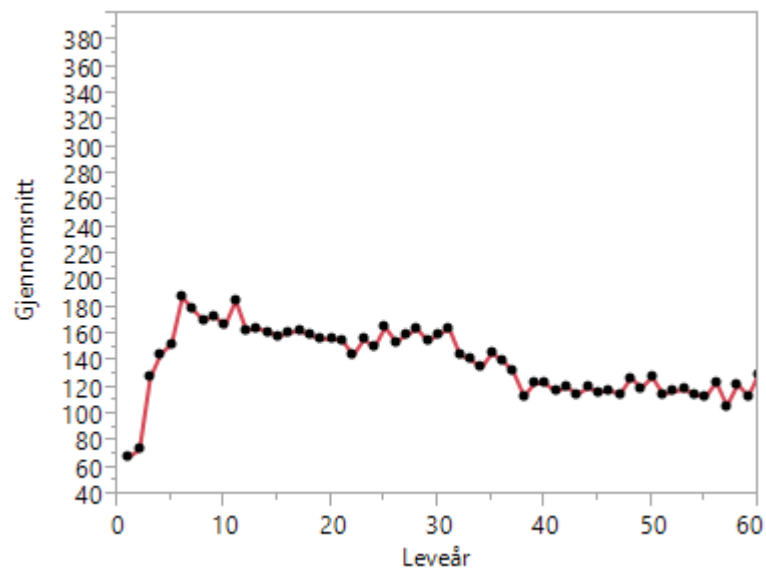
Figur 2 Bestand Froland, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

Bestandene i Etnedal, figur 3, og Begnadalen, figur 4, var av lav bonitet (G11). Prøveflaten fra Etnedal viser relativt god vekst i forhold til bonitet. Bestandet fra Begnadalen skiller seg noe ut da veksten holder seg relativt jevn etter de første årene. Det er sannsynlig at dette kommer av lav tetthet i bestandet og at trærne i liten grad har vært hindret av hverandre. Utviklingsmønsteret er likevel relativt likt som for bestandene i Hurum (figur 1), Froland

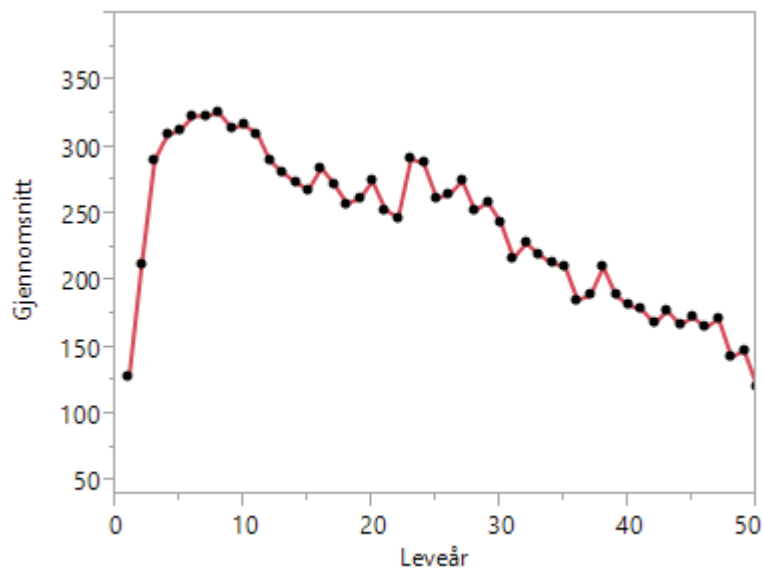
(figur 2) og Stange (figur 5). Bestandene ligger på henholdsvis 845 og 544 meter over havet. Utviklingen tyder på at det har vært god plass i etableringsfasen, men den lave boniteten og klimaet begrenser veksten og veksten holdes jevnere enn i bestandene med høyere bonitet.



Figur 3 Etnedal bestand, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

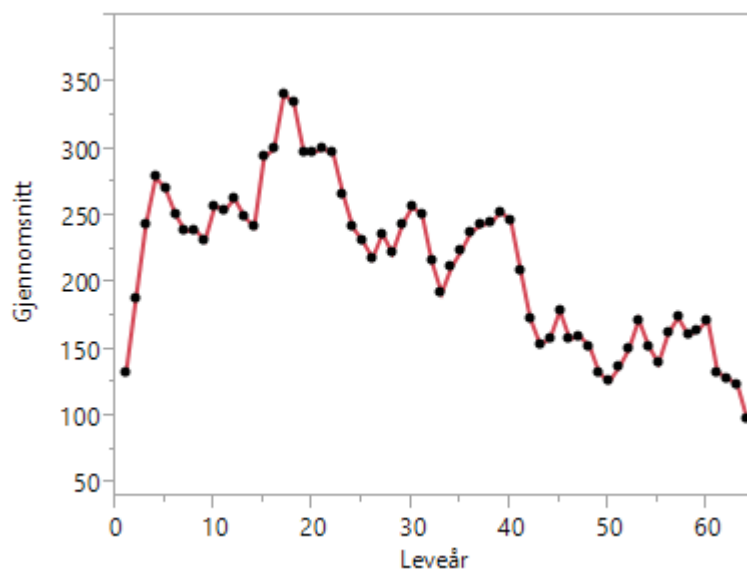


Figur 4 Bestand Begnadalen, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

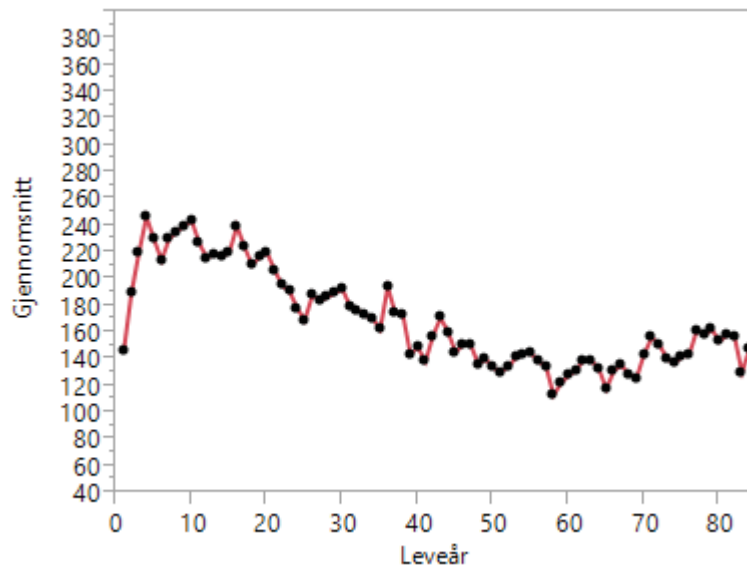


Figur 5 Bestand Stange, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

Bestandet i Lier, figur 6, lå 380 moh. og boniteten var G17. Bestandet var preget av store variasjoner i veksthastighet fra år til år. De fleste trærne hadde markante svingninger i veksthastighet, likevel tegn på gradvis stagnasjon med mindre svingninger utover i livsløpet. Variasjonen i vekst fra år til år tyder på at andre forhold enn tilgangen på lys styrte veksten i bestandet. Bestandet i Trondheim hadde bonitet G14 og lå 150 moh. Bestandet i Trondheim var ungt, men preget av noen gamle overstandere med svært liten årlig tilvekst. Veksten de første 5-20 årene, i Trondheimsbestandet, var relativt høy når man tar boniteten i betraktning, figur 7.

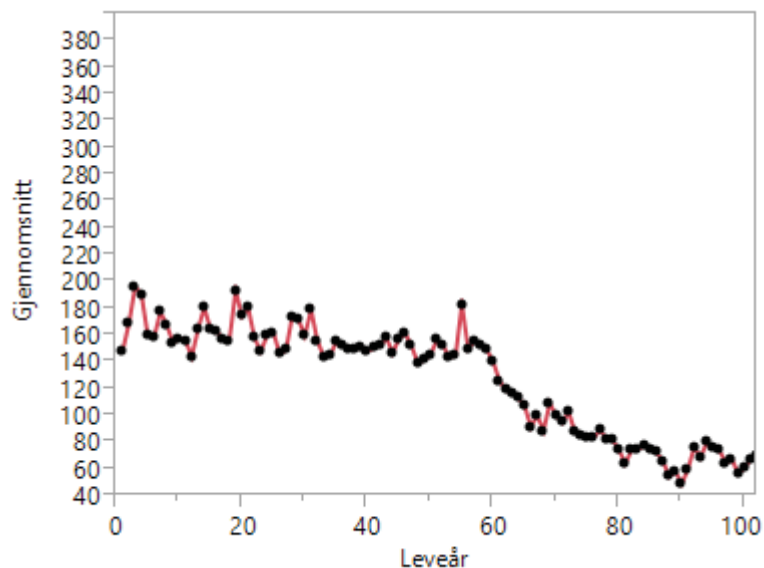


Figur 6 Bestand Lier, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.



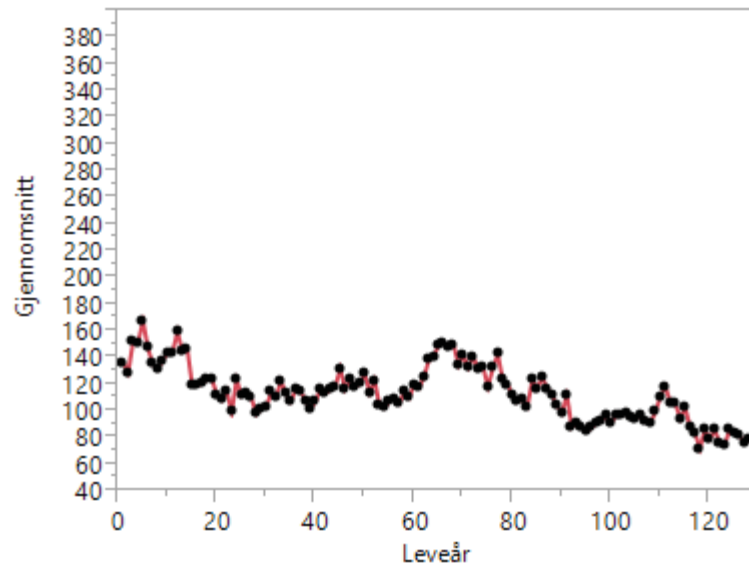
Figur 7 Bestand Trondheim, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

Prøvebestandet i Birkenes, figur 8, hadde bonitet G14 og lå 170 moh. Bestandet hadde jevn og liten diametertilvekst de første 50-60 årene. Utviklingen tyder på at bestandet er kommet opp under eksisterende skog, og har hatt jevnt med plass og næring fram til det ble om lag 50 år gammelt. Bestandet i Birkenes har også hatt gode klimatiske betingelser.

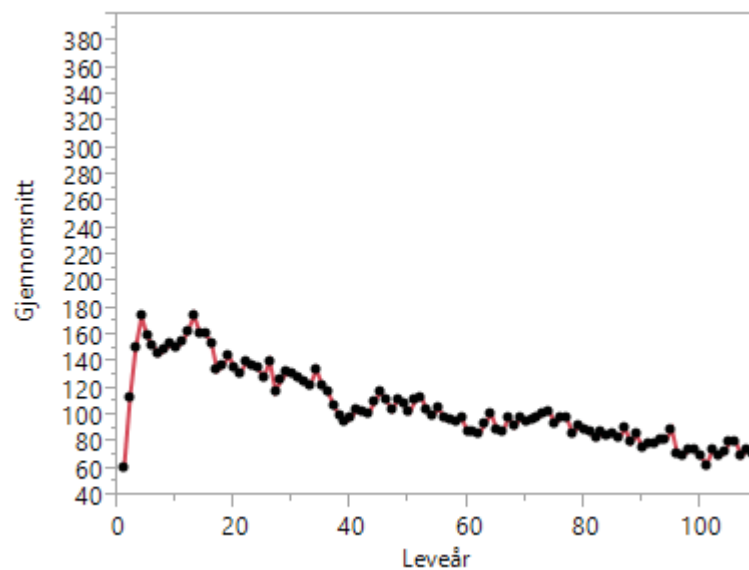


Figur 8 Bestand Birkenes, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

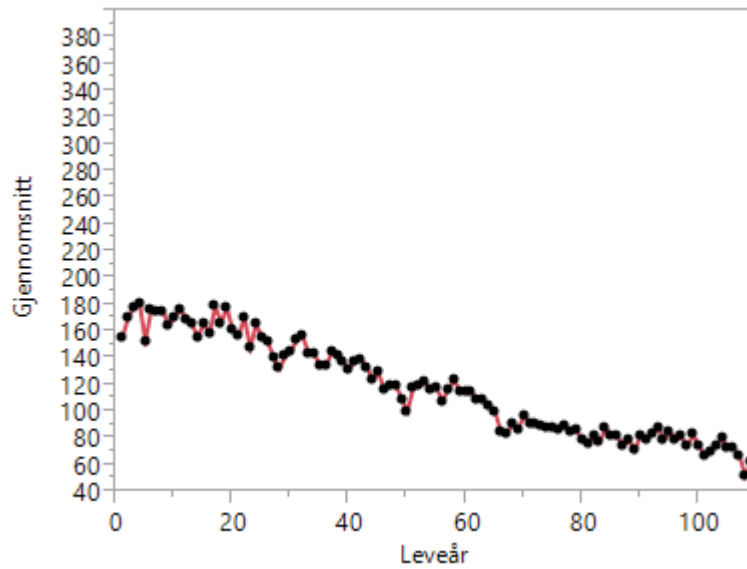
Bestandene i Veggli, Rødberg og Ulsberg, henholdsvis figur 9, 10 og 11, er alle typiske for bestand med lav bonitet, henholdsvis G11, G8 og G11. Diametertilveksten er liten, jevn og noe avtagende gjennom hele livsløpet. Tilveksten stagnerer trolig like mye grunnet alder som lystilgang. Ved 60 års alder økte veksten i Veggli bestandet igjen, noe som tyder på tynning eller bedre vekstforhold i en periode.



Figur 9 Bestand Veggli, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

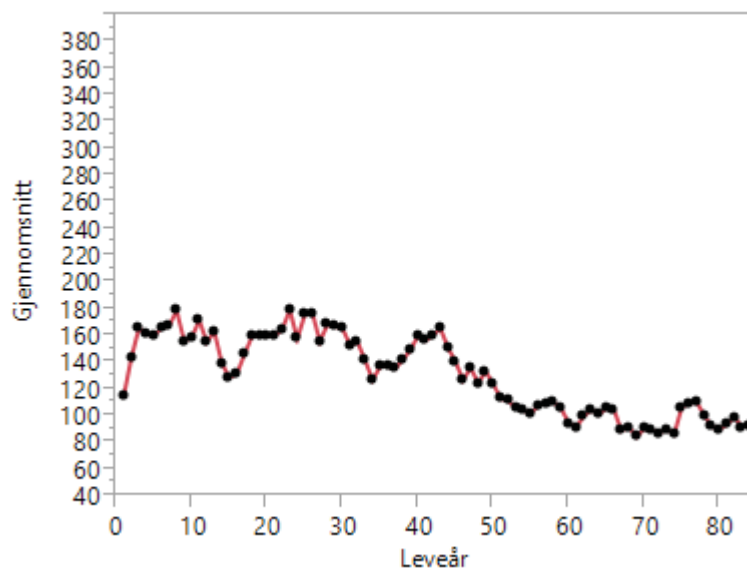


Figur 10 Bestand Rødberg, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

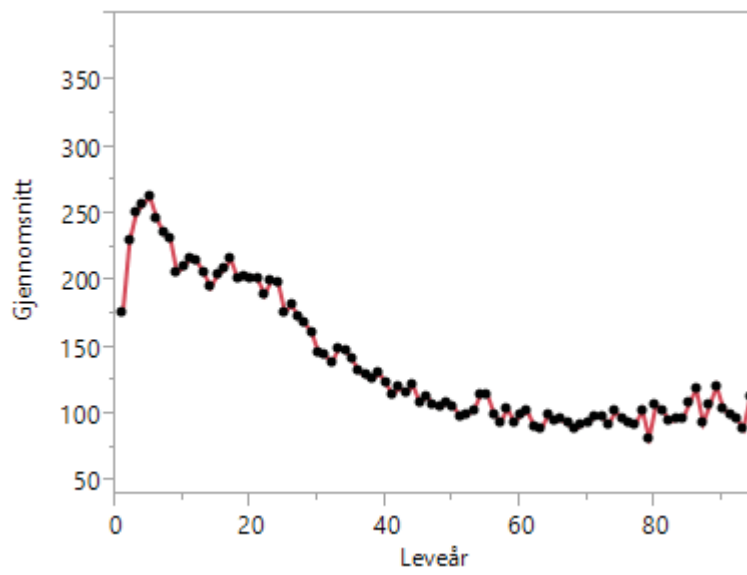


Figur 11 Bestand Ulsberg, gjennomsnittlig årringredde 1/100 mm.

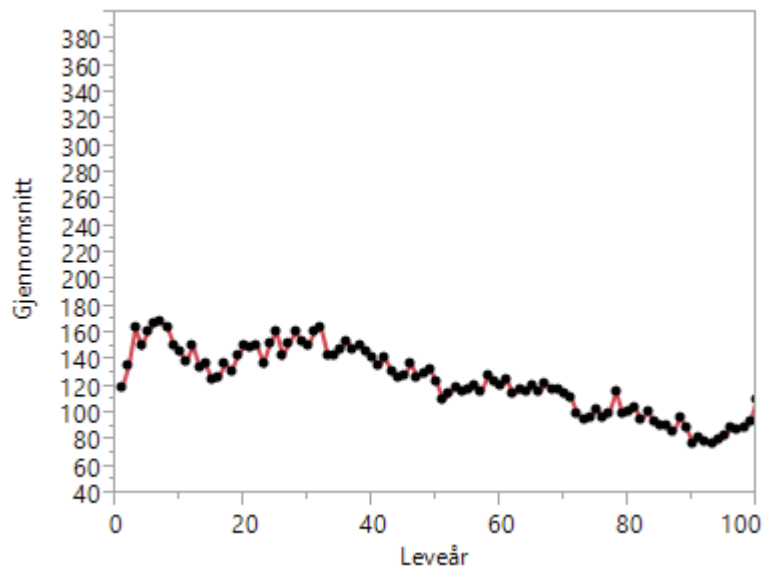
Bestandene i Frosta, Toten og Tretten var alle av middels bonitet, og høyde over havet var henholdsvis 100, 220 og 630 meter, figur 12-14. Felles for bestandene er liten variasjon i diametervekst fra år til år. Bestandet i Toten har hatt god diametervekst de første årene, mellom 20 og 40 år er det kommet til en effekt som begrenser veksten merkbart. Trolig lite plass per tre og begrenset barmasse.



Figur 12 Bestand Frosta, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.



Figur 13 Bestand Toten, gjennomsnittlig årringbredde (1/100 mm).

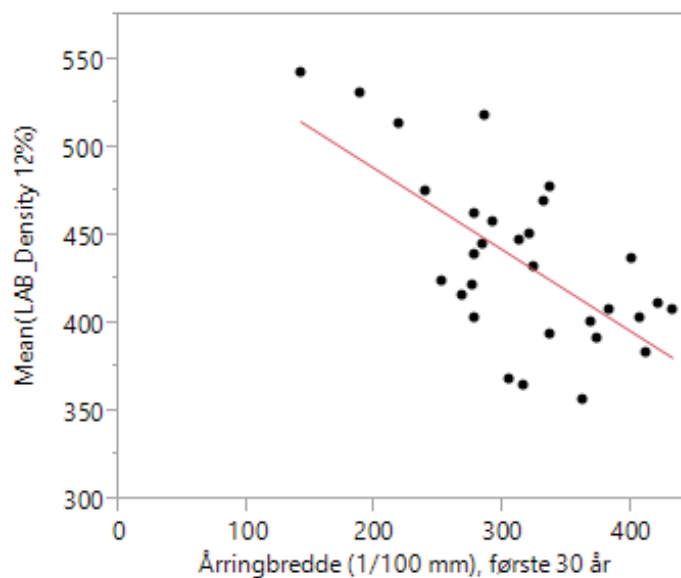


Figur 14 Bestand Tretten, gjennomsnittlig årringbredde i 1/100 mm.

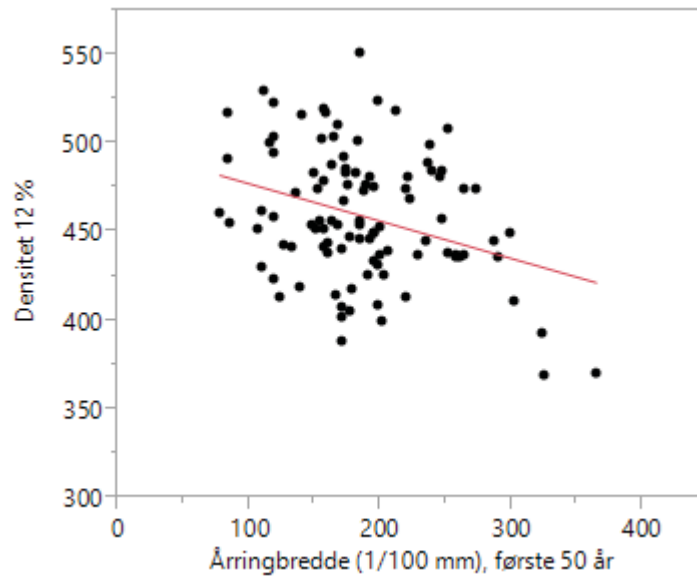
3.2 Effekten av vekst, klima og bonitet på virkesegenskaper.

3.2.1 Densitet

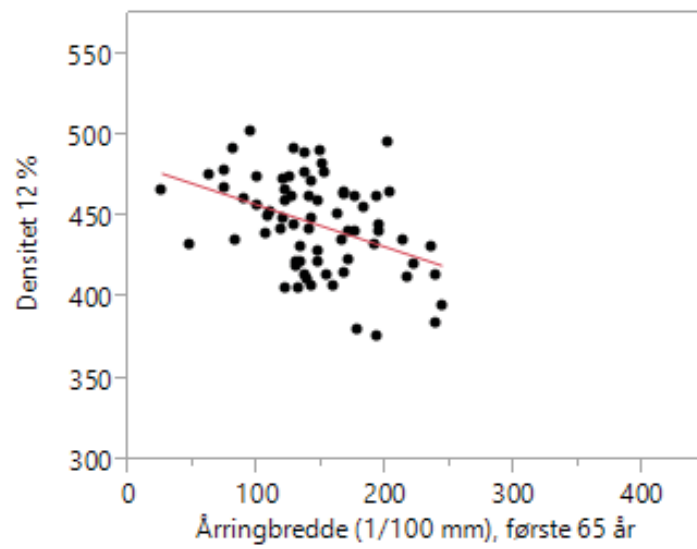
Figur 15 viser sammenhengen mellom densitet og gjennomsnittlig årringbredde for de første 30 leveårene for bestandene med høy bonitet ($F = -4,69$, $p < 0,0001$). Gjennomsnittet for de første 20 årene ($F = -4,28$, $p = 0,0002$) og de første 40 årene ($F = -4,06$, $p = 0,0004$) var nesten like gode forklaringsvariabler. Figur 16 viser tilsvarende effekt av gjennomsnittlig årringbredde for de første 50 årene på densitet for bestandene Birkenes Frosta, Lier, Stange, Tretten, Toten og Trondheim (middels bonitet; $F_{1,102} = -4,87$, $p < 0,0001$). På middels bonitet var nærmeste alternative årringintervall 40 år ($F = -3,36$, $p = 0,0011$) og 65 år ($F = -3,31$, $p = 0,0013$). Densiteten i bestand med lav bonitet ble best forklart ved gjennomsnittlig årringbredde for de første 65 årene ($F_{1,71} = -3,71$, $p = 0,0004$), figur 17. Av de andre intervallene var 80 år nærmest ($F = -3,54$, $P = 0,0007$).



Figur 15 Densitet(kg/m^3) forklart ved gjennomsnittlig årringbredde de første 30 leveårene, for høy bonitet.

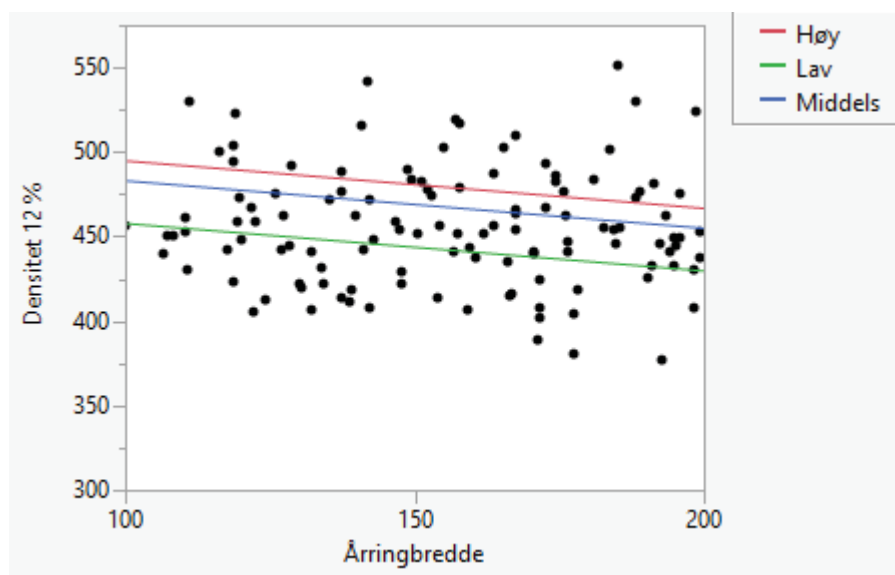


Figur 16 Densitet (kg/m^3) forklart ved treets gjennomsnittlige årringbredde, for middels bonitet.



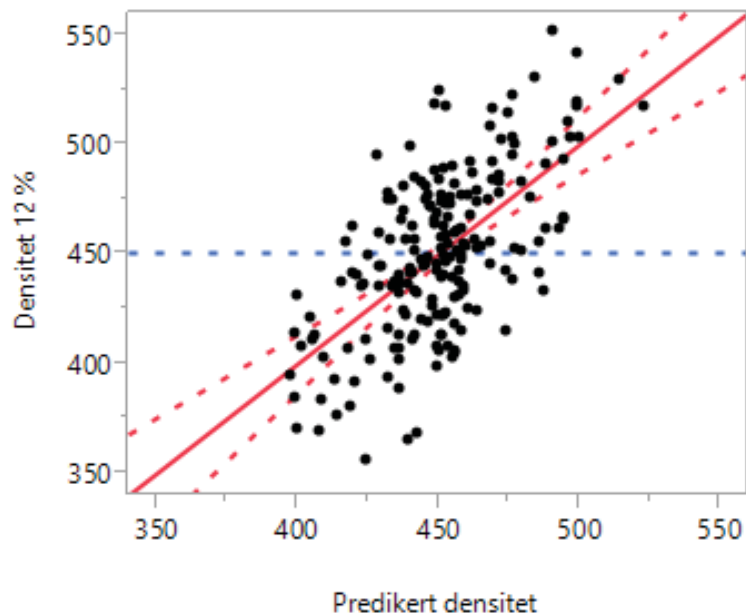
Figur 17 Densitet (kg/m^3) på gjennomsnittlig årringbredde de første 65 årene av bestandets liv, for lav bonitet.

Figur 18 og kovariansanalysen viser at det er ulike sammenhenger mellom densitet og årringbredde i de ulike bonitetsklassene. Figur 18 viser kun årringbreddene hvor det er data fra alle tre bonitetsklassene. Densiteten er positivt korrelert med bonitetsklasse ($F= 12,36$, $p < 0,0001$), se figur 19. Det ble ikke funnet signifikant interaksjon mellom bonitetsklasse og årringbredde. Årringbredde er signifikant ulik i de tre bonitetsklassene ($F= 24,64$, $p < 0,0001$), figur 18.



Figur 18 Viser densitet (kg/m^3) mot årringbredde (1/100 mm) for høy, middels og lav bonitet.

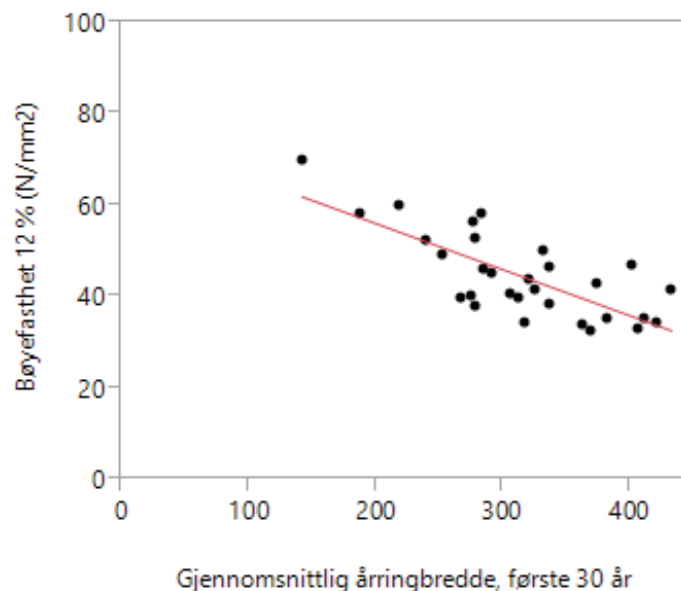
Årringbreddene (30, 50 og 65 år) fra utvalgene av bonitet, ble brukt til å modellere densiteten i hele datasettet. For densitet gav breddegrad ($F_{1,204} = -5,29$, $p < 0,0001$), høyde over havet ($F_{1,204} = -8,46$, $p < 0,0001$) og gjennomsnittlig årringbredde ($F_{1,204} = -10,41$, $p < 0,0001$) den beste modellen med $R^2 = 0,39$, figur 19. I en modell med kun årringbredde og månedlig gjennomsnittstemperatur ble det funnet at temperatur var positivt korrelert med densiteten ($F = 6,33$, $p < 0,0001$). Da høyde over havet og breddegrad ble lagt til i modellen ble effekten av månedlig gjennomsnittstemperatur ikke lenger signifikant.



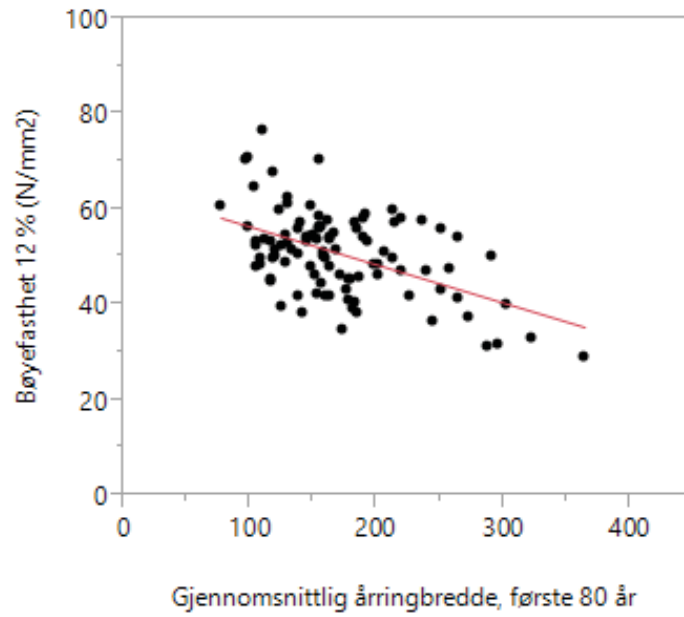
Figur 19 Modellert densitet (kg/m^3) ved 12 % fuktighet for alle boniteter

3.2.2 Bøyefasthet

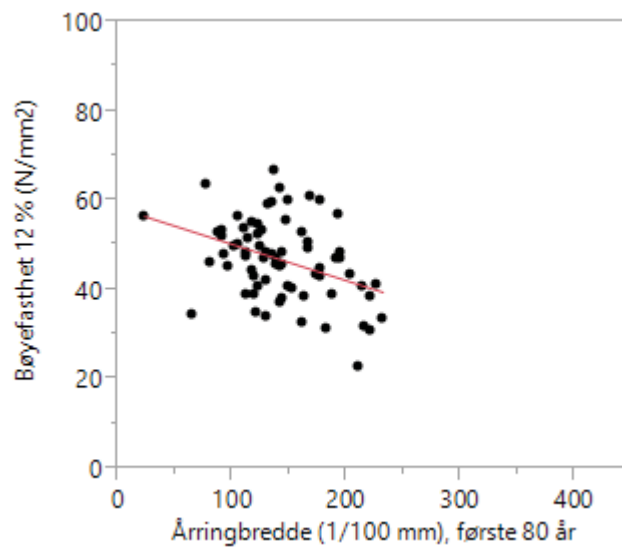
Gjennomsnittlig årringbredde de første 30 leveårene viste best signifikant sammenheng med bøyefasthet for høye boniteter ($F_{1,30} = -6,02$, $p < 0,0001$), figur 20. De første 20 årene ($F = -5,47$, $p < 0,0001$) og de første 40 årene ($F = -5,90$, $p < 0,0001$) var også gode alternativ. For bestandene med middels bonitet gav gjennomsnittlig årringbredde de første 80 årene høyest signifikans ($F_{1,102} = -5,81$, $p < 0,0001$), figur 21, mens 50 år ($F = -5,45$, $p < 0,0001$) og 65 år ($F = -5,75$, $p < 0,0001$) var nærmeste alternativ. Det ble funnet at gjennomsnittlig årringbredde de første 65 årene hadde høyest signifikant effekt på bøyefasthet på lav bonitet ($F_{1,71} = -3,60$, $p = 0,0006$). Gjennomsnittlig årringbredde de første 80 årene var nærmeste alternativ ($F = -3,45$, $p = 0,0010$), figur 22. Gjennomsnittet for de første 80 årene ble valgt som forklaringsvariabel, da det er usannsynlig at et kortere årringintervall skal gjelde for lav bonitet enn for middels bonitet.



Figur 20 Bøyefasthet (N/mm^2) mot gjennomsnittlig årringbredde ($1/100$ mm) for de første 30 leveårene.



Figur 21 Bøyefasthet (N/mm^2) mot gjennomsnittlig årringbredde (1/100mm) de første 80 årene.

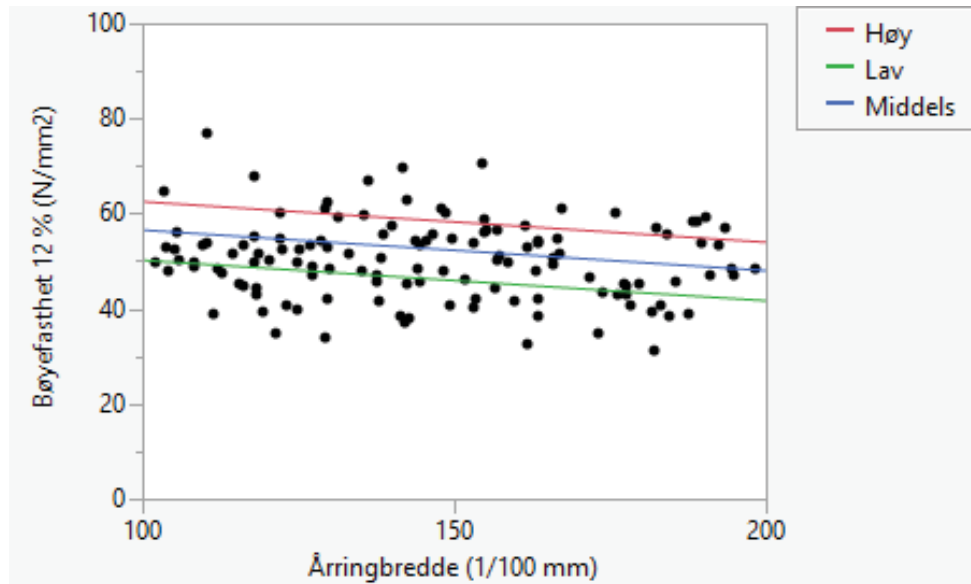


Figur 22 Bøyefasthet (N/mm^2) mot gjennomsnittlig årringbredde (1/100 mm), de første 80 årene

Figur 23 viser ulik sammenheng mellom årringbredde og bøyefasthet for bonitetsklassene.

Figuren viser kun årringbreddene hvor det er data fra alle tre bonitetsklassene.

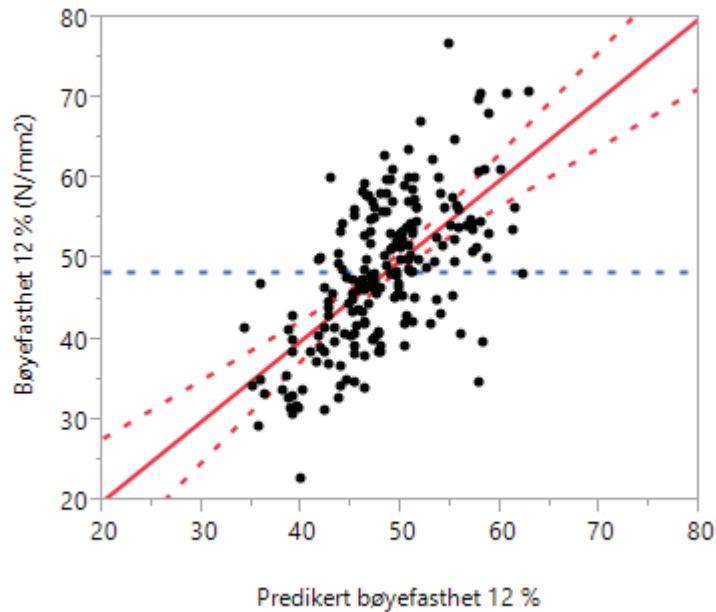
Årringbreddene, fra figur 20, 21 og 22, er signifikant negativt korrelert med bøyefasthet ($F=7,48$, $p<0,0001$). Det ble funnet en signifikant forskjell i årringbredde mellom de tre bonitetsklassene ($F=70,80$, $p<0,0001$), effekten er negativ, se figur 23. Bonitetsklasse har også en signifikant effekt på bøyefasthet ($F=18,30$, $p<0,0001$), figur 23. Ingen interaksjon ble funnet mellom årringbredde og bonitet, $p>0,05$.



Figur 23 Viser bøyefasthet (N/mm^2) mot årringbredde ($1/100$ mm).

De relevante årringbreddene (gjennomsnitt 30 og 80 år) fra utvalgene av bonitet, ble brukt til å modellere bøyefastheten i hele datasettet. Det ble gjort en multippel regresjon for bøyefasthet mot høyde over havet ($F_{1,174} = -5,70$, $p<0,0001$), breddegrad ($F_{1,174} = -4,59$, $p<0,0001$), energigradtallsum ($F_{1,174} = 2,87$, $p=0,0046$) og gjennomsnittlig årringbredde ($F_{1,174} = -10,75$, $p<0,0001$), figur 24. Modellen ga $R^2 = 0,40$ ($F=32,94$, $p<0,0001$).

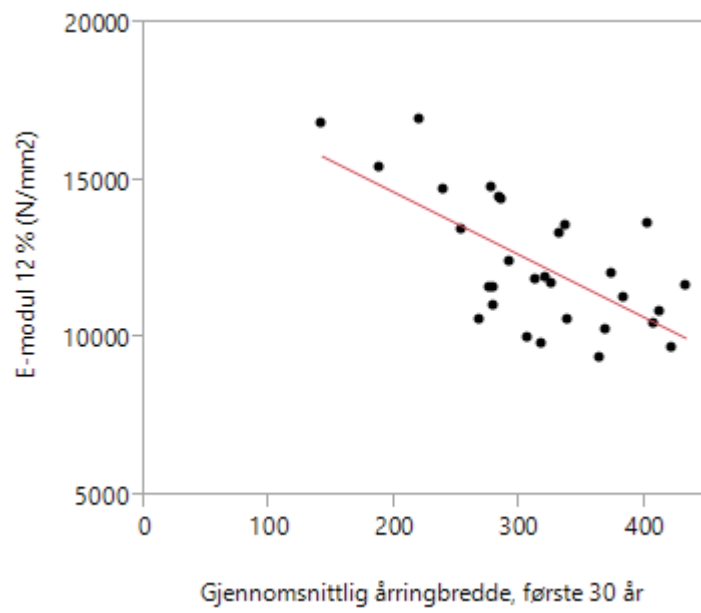
Energigradtallsum hadde positiv effekt på bøyefasthet også etter at breddegrad og høyde over havet ble inkludert i modellen. Effekten av bonitet på sammenhengen mellom bøyefasthet og årringbredde var ikke lenger signifikant når energigradtallsum, høyde over havet og breddegrad ble lagt til modellen



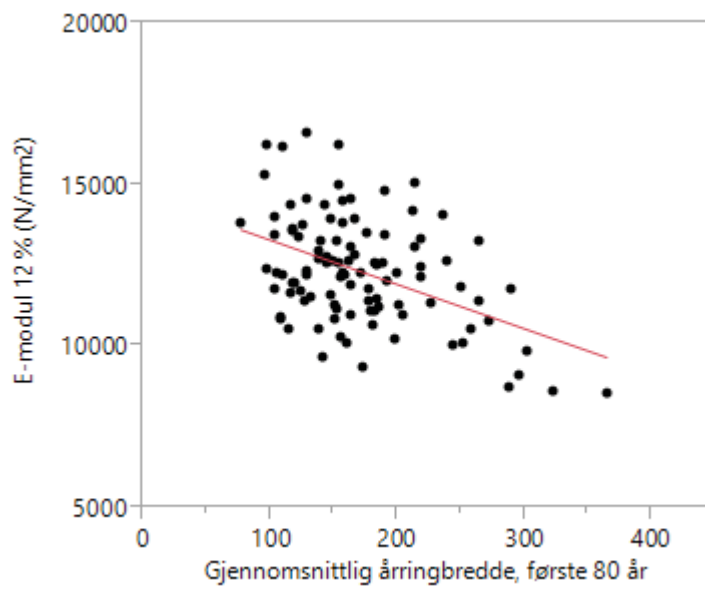
Figur 24 Modellert bøyefasthet (N/mm^2) for alle boniteter.

3.2.3 E-modul

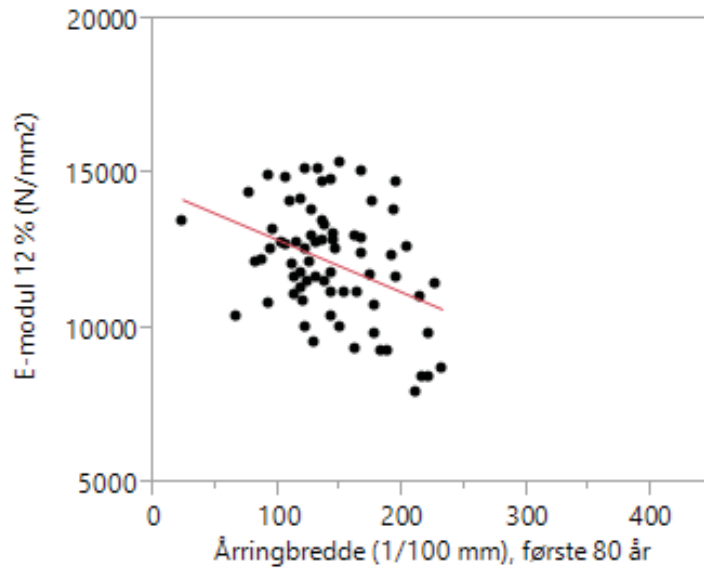
Gjennomsnittlig årringbredde de første 30 årene gav høyest signifikant effekt på E-modul for de høye bonitetene ($F_{1,30} = -4,71$, $p < 0,0001$), figur 25. De første 20 ($F = -4,21$, $p = 0,0002$) og 40 årene ($F = -4,40$, $p = 0,0001$) var de nærmeste alternativene. For middels bonitet gav gjennomsnittlig årringbredde de første 80 årene ($F_{1,102} = -5,40$, $p < 0,0001$) høyest signifikans, figur 26, mens 65 år ($F = -4,24$, $p < 0,0001$) var nærmeste alternativ. Variasjonen i dataene fra bestandene med lav bonitet lot seg ikke forklare ved årring- eller klima variabler, $p > 0,05$. For de lave bonitetene ga gjennomsnittstall for intervallet 0-65 leveår høyest signifikans av årringintervallene ($F = -3,60$, $p = 0,0006$), mens 80 år var litt svakere ($F = -3,51$, $p = 0,0008$). De første 80 årene ble valgt som det mest logiske årringintervallet for lav bonitet, figur 27.



Figur 25 E-modul (N/mm^2) mot gjennomsnittlig årringbredde(1/100 mm) for de første 30 leveårene.

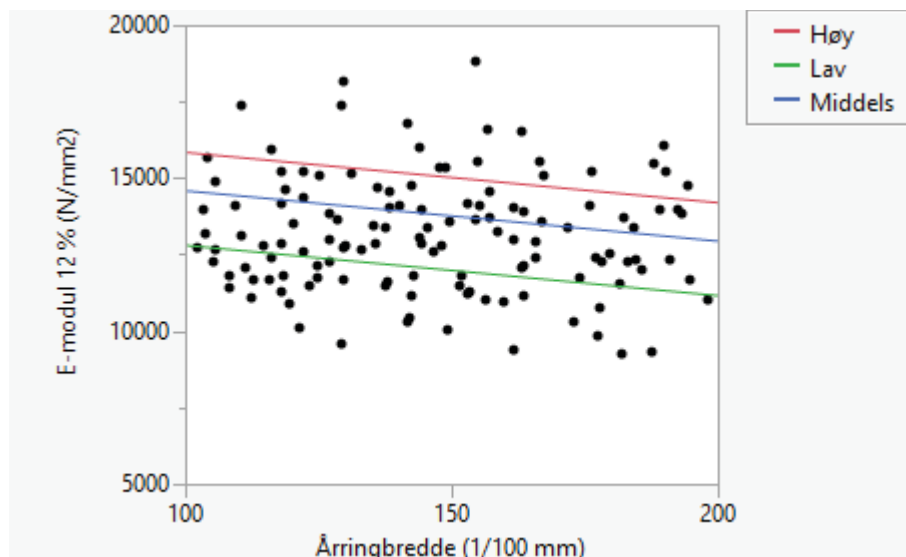


Figur 26 E-modul (N/mm^2) mot gjennomsnittlig årringbredde (1/100mm) for de første 80 årene.



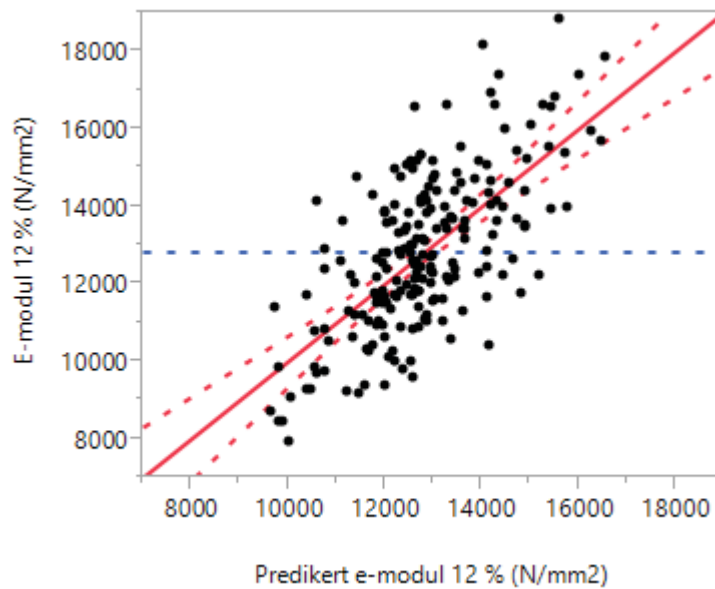
Figur 27 E-modul (N/mm^2) mot gjennomsnittlig årringbredde ($1/100$ mm) for de første 80 årene.

I figur 28 er de tre relevante årringintervallene (30 og 80 år) samlet i en modell ($F= 25,72$, $p<0,0001$ og $R^2=0,28$), hver linje representerer årringbreddene for en bonitetsklasse. En kovarians analyse viser at det er signifikant forskjell på e-modulen mellom de ulike bonitetsklassene ($F= 24,92$, $p< 0,0001$), e-modulen øker med økende bonitet, se figur 28. Årringbredden er også signifikant forskjellig i de ulike bonitetsklassene ($F= 50,89$, $p<0,0001$). Det ble ikke funnet noen signifikant interaksjon mellom gjennomsnittlig årringbredde og bonitet, $p> 0,05$.



Figur 28 Viser e-modul (N/mm^2) mot gjennomsnittlig årringbredde, fordelt på høy, middels og lav bonitet.

Årringbreddene (30 år og 80 år) fra utvalgene av bonitet, ble brukt til å modellere e-modul, figur 29 ($F= 54,66$, $p<0,0001$, $R^2= 0,45$). E-modulen viste seg best forklart med høyde over havet ($F_{1,204}= - 9,23$, $p<0,0001$), breddegrad ($F_{1,204}= - 5,66$, $p<0,0001$) og gjennomsnittlig årringbredde ($F_{1,204}= - 10,10$, $p<0,0001$), figur 29. På samme måte som for bøyefasthet, viste en modell med kun årringbredde og månedlig gjennomsnittstemperatur en signifikant positiv effekt av klima på e-modul, mens effekten ikke lenger ble signifikant når høyde over havet og breddegrad ble lagt til modellen.



Figur 29 E-modul (N/mm^2) modellert for alle boniteter.

4.0 Diskusjon

4.1 Materiale

Underveis i arbeidet har det oppstått noen problemer i det at prøvene har ligget nedfrost over lengre tid. Resultatet av nedfrysing, i kombinasjon med fuktighet i prøvene, har ført til frostsprengning av vårveden av prøvene. Selv om dette lar seg korrigere ved hjelp av en skalpell, anbefales det at årringene måles så snart som mulig etter innsamling. Arbeidet vil bli mer effektivt samt at sjansen for at prøver mistes går drastisk ned. Som tidligere nevnt er fire prøver helt borte mens ytterligere 5 prøver sannsynligvis mangler noen årringer ytterst mot barken. På tross av at det er ringene innerst mot margen vi anser som viktigst er dette selvsagt en feilkilde man må ta i betraktning. I modelleringen er de siste årene ikke inkludert da sannsynligheten for utvalgseffekter blir større når antall observasjoner går ned. En trelastpakke forsvant under tørking ved sagbruk. Pakken inneholdt ikke trelast fra bestandene med høy bonitet (Hurum og Froland). Dette bidrog til noe redusert utvalg blant de lavere bonitetene, men tillegges liten vekt da disse i utgangspunktet var overrepresenterte.

Det er svært vanskelig å treffe senter hver gang en boreprøve tas. Ofte går boret til siden for margen og kun en liten bit av denne er til stede i prøven. I andre tilfeller blir ikke margen med i prøven, men treffet er nærme nok til at grensen til første årring er synlig i prøven. Dette fører til komplikasjoner senere når registreringsarbeidet forsetter på laboratoriet. Prøveflatene består av 13-15 prøvetrær, av disse har første årring manglet for høyst tre prøver, oftest to, fra hver flate. I gjennomsnittstall blir derfor effekten av estimeringene svært lav. Estimeringene ble gjort for at årringbreddene skulle få sin rette posisjon, i alle fall etter de to første årene. Dette valget ble tatt med tanke på at en forskyvning ville gjøre feilen større enn to estimerte tall.

4.2 Årringbredde mot leveår

Det er velkjent at utviklingen skjer i ulik hastighet og form avhengig av type plante og voksested. Figurene 1-14 er gode eksempler på dette. Noen av bestandene utvikler seg raskt, andre blir begrenset av ulike årsaker. Høibø (1991) viste at økt planteavstand, og følgelig økt lystilgang førte til hurtigere diametervekst og dårligere egenskaper. Gran som vokser på god mark, men har liten tilgang på lys vil kunne utvikle seg like sakte som et tre i et fjellbestand. Disse trærne vil likevel ikke få like egenskaper. For treet på god mark er det ofte tilgang på lys som begrenser veksten, mens temperatur og næringstilgang er tilstrekkelig. Trær i fjellbestand kan stå på skrinne mark og begrenses av temperatur og i noen tilfeller næring, ikke lys. Forholdet vil føre til at treet som vokser på god mark vil ha høyere densitet da næringen

og klima tillater at somerveden dannes fult ut. Dette forholdet vil igjen føre til at treet fra den gode marka har bedre forutsetninger for høy E-modul og bøyefasthet. Likevel er forutsetningene for stor åringbredde til stede i de gode bonitetene, og dette fører til at densiteten ofte blir lavere enn den vi finner på lavere boniteter (Vestøl et al. 2001).

Figurene 1-14 er alle klart forskjellige fra hverandre og er et godt eksempel på hvordan også bestand, med relativt like forhold, utvikler seg ulikt fra hverandre. Dette sammenfaller godt med litteraturen (Høibø 1991; Jaakkola et al. 2006; Fritts 1976; King et al. 2013), som sier at veksten er avhengig av flere faktorer. Det er tydelig at i bestand som vokser raskt begrenses veksten tilsvarende tidlig, trolig som et resultat av at bestandet slutter seg. Denne veksten avtar dersom det ikke enten gjøres skogkultur eller det ikke forekommer en viss grad av selvtynning. Dette underbygges av at de første 30 årene var den beste åring variabelen for høye boniteter. Denne perioden ble også funnet viktig av Høibø (1991). Når veksten er høyest inn mot margin gjelder et kortere intervall enn om veksten er jevn til langt ut i livsløpet. Denne effekten er ikke like klar for de midlere og lave bonitetene.

4.3 Bonitet og alder

Oppdelingen i tre ulike grupper basert på bonitet, ga redusert variasjon i den enkelte gruppe. Det var likevel høyst nødvendig å gjøre denne oppdelingen da et passende åringintervall måtte finnes for hver bonitet. Det ble derfor avgjort at disse delmodellene kun skulle brukes for å finne det optimale åringintervallet for hver bonitetsklasse, klima ble kun testet i sluttmodellene. Det var uventet å se en så svak korrelasjon mellom klimadata og densitet, e-modul og bøyefasthet i de ferdige modellene.

Bonitet som mål på produktivitet kan være noe tvetydig. Boniteten kan være begrenset av skrinne mark eller det kan være klimatiske faktorer som setter begrensningene. Det er derfor vanskelig å bruke boniteten som forklaringsvariabel i slike undersøkelser. Det er likevel det eneste produktivetsmålet vi har for de aller fleste bestand i Norge. Det gir derfor mening å bruke det til å dele inn datasettet under arbeidet. Likevel kan to bestand med samme bonitet ha vidt forskjellige vekstvilkår og to vidt forskjellige begrensende faktorer. Aanerød (2014) testet imidlertid interaksjonen mellom høyde over havet og bonitet. Denne var ikke signifikant for noen av de tre egenskapene. Effekten av bonitet er altså ikke avhengig av høyde over havet.

Merk at også at datasettet ble forsøkt oppdelt etter alder. Bonitet viste seg bedre i alle modellene, med lavere p-verdier. Dette kan komme av flere årsaker. Dette datasettet ble

oppdelt etter gjennomsnittsalder for hver prøveflate. Da variasjonen i alder, i bestandene, var knyttet til noen få gamle og unge trær ble det ikke sett som hensiktsmessig å benytte alder for hvert tre i denne studien. Å benytte alder for hvert tre til å forbedre modellene er en mulighet som må tas i nærmere betraktning for bestand med stor variasjon i alder. Alder i kombinasjon med årringbredde ville trolig forklare konkurranse situasjonen til det enkelte tre bedre enn årringbredde alene. I et plantet bestand ville ikke denne ha noen betydning da alle trærne blir tilnærmet like gamle, og årringbredden vil være langt mer egnet til å beskrive undertrykte individ. I flersjiktete bestand ville gjennomsnittlig årringbredde i kombinasjon med alder trolig være bedre egnet til å beskrive forskjellene, da det kan være stor variasjon i alder i bestandet. Det finnes noe variasjon i alder i bestandene i datasettet, tabell 3. Forskjellene er likevel mye knyttet til noen få overstandere med en jevnere aldersklasse under eller yngre trær under det dominerende sjiktet på lave boniteter. Samtidig har noen prøver manglet ytterste del mot barken. Å benytte disse tellingene til å bestemme alder på hvert enkelt tre ville derfor være unøyaktig. I denne omgang har det derfor ikke blitt forsøkt annet enn oppdeling etter gjennomsnittstall, hvor feilene blir relativt mindre grunnet økt antall observasjoner.

At breddegrad og høyde over havet er bedre forklaringsvariabler tyder likevel på at bonitet ikke er et godt nok mål for densitet, e-modul og bøyefasthet. Denne effekten kan muligvis tilskrives varierende kvalitet på boniteringen i Norge. Det kan også tyde på at boniteten som klasse ikke fanger opp nok av forskjellene i blant annet klima. Dette tyder på at boniteringen ikke er nøyaktig nok og at prøveflatens lokalitet kan være en bedre forklaringsvariabel.

Ut fra datamaterialet er det tydelig at de høye bonitetene gir muligheter for kvalitetsproduksjon. Kovariansanalysene viser at de høyeste bonitetene produserer høyest densitet, bøyefasthet og e-modul, forutsatt at bredden på årringene er lik (Figurene 18, 23 og 28). Bonitet hadde positiv effekt på både densitet, bøyefasthet og e-modul når det var korrigert for årringbredde. Tilsvarende resultat ble også funnet av Høibø & Vestøl (2010). Andre har funnet negativ korrelasjon mellom bonitet og trelastegenskaper i materialet denne studien bygger på (Aanerød 2014; Fjeld 2012). Felles for studiene som fant negativ effekt av bonitet på styrke og densitet er at det ikke ble tatt hensyn til årringbredde. I disse studiene har resultatene trolig vært mest påvirket av den økte diameterveksten tilknyttet høyere bonitet og ikke effekten av høyere bonitet alene. Effekten av vekst også beskrevet av Høibø (1991) som viste at tette bestand med lavere vekst ga høyere bøyefasthet enn bestand med større diametervekst. Breddegrad og høyde over havet viste seg å forklare mer av variasjonen enn

bonitet, disse ble derfor benyttet i modellene. Dermed er det de sakte voksende trærne på gode boniteter som har den beste kapasiteten til å produsere høy kvalitet.

4.4 Årringbredde og trelastegenskaper

Flere andre studier har også vist at diametertilvekst er en viktig variabel for densitet, bøyefasthet og e-modul (Aanerød 2014; Høibø 1991; Høibø & Vestøl 2010; Lindström 1996). Økende årringbredde er negativt for egenskapene i trevirket. Dette forklares av den økende andelen vårved og dens tynnere cellevegger sett i forhold til sommerveden. Andre studier har brukt brysthøyde diameter og alder som substitutt for målt gjennomsnittlig årringbredde, som blant annet Aanerød (2014) gjorde for dette materialet. Metoden gir et grovere estimat, men er et enklere alternativ til den mer arbeidskrevende måleprosessen. Det største argumentet for gjennomsnittlig årringbredde er muligheten til å utelukke årringer etter vekst stagnasjon. Ofte har stagnerte trær flere år med minimal tilvekst, disse vil påvirke gjennomsnittet om de blir inkludert. Samtidig er det viktig å merke seg at gjennomsnittlig årringbredde for treets hele livsløp ikke er inkludert i dette arbeidet. De siste årene er det ikke like mange trær med, og stagnert vekst blir mer gjeldende. For å unngå utvalgseffekter er det derfor ikke benyttet gjennomsnittstall for mer enn de første 80 årene i treets liv. De ytterste ringene betyr også relativt mindre for sagtømmer i praksis, da en stor del forsvinner i flis på sagbruket. De ytterste årringene er i midlertid trolig korrelert med kvistdiameter lenger opp i treet, i materialet som går til massevirke (Vestøl pers. med.).

Om vi legger til grunn at Wilhelmsson et al. (2002) hadde rett i at så mye som 50 % av variasjonen mellom trær kan knyttes til genetikk, så må modellene i denne studien sies å være relativt gode. Mye tyder likevel på at flere variabler påvirker styrke og densitet i trelasten.

Densiteten fulgte forventet utvikling bedre, enn e-modul og bøyefasthet, og intervallene 30, 50 og 65 år ga høyest signifikans for henholdsvis høy, middels og lav bonitet. På middels bonitet var 80 år bedre enn 50 år til å forklare e-modul og bøyefasthet. Denne forskjellen var høyst uventet, det sterke forholdet mellom densitet og styrke tatt i betraktning. I den lave bonitetsklassen (G8-11) ble det funnet en signifikant effekt av gjennomsnittlig årringbredde de første 80 årene på e-modul og bøyefasthet, mens densiteten ble best forklart ved gjennomsnittet de første 65 årene. Noe av forskjellen på årringbreddene for densitet mot e-modul og bøyefasthet kan trolig tilskrives relativt liten variasjon i årringbredde hos trærne på lav bonitet. Samtidig fant Aanerød (2014) blant annet at storkens posisjon i treet var viktig for både densitet e-modul og densitet. Effektene var likevel ulike, densiteten økte med økende

høyde i treet, mens bøyefasthet og e-modul ble dårligere. Denne sammenhengen er ikke testet i denne undersøkelsen, men belyser godt forskjellene på densitet, e-modul og bøyefasthet. Samtidig var et lenger årringintervall (80 år) bedre egnet til å forklare e-modul og bøyefasthet på middels bonitet enn for densitet (50 år). Denne forskjellen kan trolig også knyttes til effekten av kvist på e-modul og bøyefasthet.

4.4.1 Kvist og trelastegenskaper

Det er ikke tatt direkte hensyn til synlige virkesfeil som forklaringsvariabler. Kvist forklares til en viss grad ved veksthastighet, men kvist som forklaringsvariabel ville trolig forbedret modellene ytterligere. Kvistens plassering er viktig for hvordan den påvirker styrke, og kvist fører til mer tilfeldig variasjon (Aanerød 2014). Samtidig er det verdt å kommentere at aptering er gjort etter lengdemål og minste toppdiameter, det er ikke tatt hensyn til eventuelle virkesfeil. Trær med synlige skader som toppbrekk, råte og dobbeltopp er likevel ikke tatt med da slike feil påvirker vekst og egenskaper i for stor grad. Slike trær ville heller ikke blitt levert til sagtømmer i en tømmerdrift. Det har altså ikke blitt tatt hensyn til kvist i dette arbeidet, men utvikling av kvist kan blant annet være grunnen til at årringintervallene for densitet skilte seg noe fra de for bøyefasthet og e-modul. Jaakkola et al. (2006) fant at nedgangen i densitet var lav sammenlignet med økt diametervekst på gran. Samtidig er det vist at kvist og økt diametervekst påvirker e-modul og bøyefasthet negativt (Høibø et al. 2014; Høibø 1991; Kollmann & Côte 1968). Densiteten påvirkes ikke nødvendigvis på samme måte av kvist som e-modul og bøyefasthet, da disse er følsomme for fiberforstyrrelsen som hører sammen med kvist. Årringbredde er indirekte knyttet til kroneutvikling hos gran (Lindström 1996). Planteavstand hos gran er viktig for vekst og følgelig årringbredde (Høibø 1991; Handler & Jacobsen 1986). Kviststørrelsen øker med planteavstand (Handler & Jacobsen 1986). Følgelig er kvist og vekst nært forbundet og styrke påvirkes negativt av kvist (Høibø 1991).

Densitet er en fysisk egenskap og skiller seg derfor fra e-modul og bøyefasthet som begge er mekaniske egenskaper. E-modulen og bøyefastheten påvirkes av blant annet fiberhelling, fuktighet og densitet. Likevel er densiteten viktig for fasthetsegenskapene i trelasten (Kollmann og Côte 1968). Det var interessant at et lengre årringintervall var viktig for e-modul og bøyefasthet på middels bonitet enn for densitet. Dette kan ha ulike årsaker. Forskjellen mellom årringbreddene for densitet og årringbreddene for e-modul og bøyefasthet kan kanskje knyttes til at densitet er en fysisk egenskap, og nærmere knyttet til forholdet vårved/sommerved. Effekten av årringbredde på de lave bonitetene kan trolig knyttes til liten

variasjon i årringbredde, det er lite sannsynlig at et kortere årringintervall forklarer variasjon på lave boniteter bedre enn på middels bonitet. Det ble funnet en negativ effekt av årringbredde på både densitet, e-modul og bøyefasthet i sluttmodellene. Dette var som ventet og stemmer godt overens med litteraturen som sier at økt diameter tilvekst er negativt for trelastegenskaper (Høibø 1991; Pape 1999; Jaakkola et al. 2005; Lindström 1996).

Densiteten er knyttet til årringbredde, årringbredde er knyttet til næring og tilgang på lys, tilgang på lys er avhengig av planteavstand og kvist er avhengig av planteavstand for å utvikle seg. Sammenhengen mellom årringbredde og densitet er beskrevet tidligere av Jaakkola, Mäkinen og Saranpää (2005 og 2006) samt Wilhelmsson (2002). Økt årringbredde gir lavere densitet. Pape (1999) fant at korrelasjonen mellom årringbredde og densitet ikke er lineær. Etter å ha studert datamaterialet, ble det likevel funnet at en lineær regresjon ville passe dette utvalget bedre. I intervallet en til tre millimeters årringbredde ser det ut til at korrelasjonen Pape (1999) fant også er tilnærmet lineær. Det er derfor trolig at effekten hadde vært lik i denne studien om større årringbredde hadde vært bedre representert. Aanerød (2014) hadde ikke årringbredde tilgjengelig, hun benyttet derfor brysthøydiameter og alder i stedet og fant en negativ effekt av brysthøyde diameter på densitet, e-modul og bøyefasthet. Dette stemmer godt overens med funnene i denne studien, også Fjeld (2012) fant den samme effekten av diameter i brysthøyde og alder. Densitet kan ikke fullt ut forklares ved årringbredde, man må også ta hensyn til voksested og arvematerialet til det enkelte tre (Wilhelmsson et al. 2002). Foredlede plantematerialer inneholder typisk mindre genetisk variasjon enn naturskog (Lindström 1996). Lindström (1996) fant at gjennomsnittlig årringbredde var en signifikant indikator for densitet i gran for hans prøver i Sverige. Det er derfor grunn til å tro at den relativt store virkningen av gener, nevnt i Wilhelmsson et al. (2002), vil bli mindre om samme studie utføres utelukkende på plantet kulturskog. Om dette skulle stemme ville det åpne for store forbedringsmuligheter innen skogmodellering. Andre studier har funnet at blant annet trehøyde, grunnflatesum og forholdet mellom høyde og diameter har en effekt på densitet, bøyefasthet og e-modul (Watt et al. 2006; Aanerud 2014; Lei et al. 2005). Dette er også faktorer, som på linje med årringbredden, indikerer tetthet i bestandet.

Årringbredden har vist seg å være den viktigste variabelen for både bøyefasthet, e-modul og densitet. Wilhelmsson et al. (2002) viser også til at en stor del av variasjonen i densitet innad i et treslag må tilskrives genetisk variasjon og arv og således ikke kan forklares fullt ut ved eksterne variabler.

4.4.2 Ungdomsved og trelastegenskaper

I følge Han og Toverød (1990) fant Nylinder (1990) at årringbredden i intervallet 2-4 cm fra marginen var en viktig indikator for tømmer- og trelastkvalitet av furu. Variasjonen i densitet gjennom ungdomsveden er allerede dokumentert (Wilhelmsson et al. 2002; Pape 1999; Danborg 1994) og det er derfor grunn til å tro at høy vekst de første årene vil føre til svekkede styrkeegenskaper i trelasten. Det er viktig å merke seg at, selv for de mest produktive lokalitetene, de første 20 årene eller ungdomsveden ikke var det mest egnede årringintervallet. Dette tyder på at egenskapene er avhengige av veksthastigheten i en større del av stammen. I de høye bonitetene er det de første 30 årene som peker seg ut som den viktigste tiden, mens dette intervallet blir større jo mindre produktiv skogen er. De første 30 årene ble funnet å være viktig også av Høibø (1991) i en studie av gran på god mark. Dette sammenfaller godt med hvor lang tid de ulike bestandene trolig bruker på å slutte seg. Bestand på skrinne mark med lavt planteantall bruker lengre tid på å lukke seg enn et bestand på god mark. Dette knyttes videre til utviklingen av kvist og kvistsetting. Korte intervaller viste seg å ikke være best egnet til å modellere egenskapene densitet, e-modul og bøyefasthet i denne studien. For de undersøkte bestandene tyder derfor mye på at tidspunktet for når bestanden slutter seg er viktigere enn årringbredde i ungdomsveden. Det viser likevel også at et intervall nærmere kjernen og følgelig ungdomsveden er viktigere når veksten i utgangspunktet er høy.

4.6 Klima, breddegrad og høyde over havet

Energigradtallsum viste seg å være eneste klimadata signifikant i en sluttmodell, og den var kun signifikant for bøyefasthet. Korrelasjonen var positiv og støttes i stor grad av eksisterende litteratur (King et al. 2013; Ericson 1960; Wilhelmsson 2001). For e-modul og densitet ble det ikke funnet noen signifikant effekt av noen av klimavariablene så lenge breddegrad og høyde over havet ble brukt i modellen. For både densitet, e-modul og bøyefasthet var breddegrad og høyde over havet bedre egnet til å forklare variasjonen enn de tre klimavariablene. Wilhelmsson et al. (2002) fikk gode resultater ved å blant annet benytte diameter og temperatursum til å modellere densitet i gran.

Denne undersøkelsen har funnet en klar effekt av breddegrad og høyde over havet på densitet, e-modul og bøyefasthet i granvirke. For e-modul og densitet ble korrelasjonen med klima borte da breddegrad og høyde over havet ble introdusert i modellen. Klimadata benyttet i denne studien har vært basert på temperatur alene og i følge Store norske leksikon (2015) er temperatur et av meteorologiens hoved kjennetegn for klima. Å benytte temperatur sammen med data om nedbør kunne likevel vært interessant. Blant andre Danborg (1994) har funnet en

klar effekt av temperatur og nedbør på densitet. Samtidig var det ikke uventet at klimavariablene ble påvirket da breddegrad og høyde over havet ble introdusert i modellene. Klima er som kjent avhengig av hvor langt nord og hvor høyt lokaliteten befinner seg. Det er god geografisk spredning i dataene. Lokalitetene ligger over hele sør/øst landet og i høydelag fra 100 til 800 meter over havnivå. Dette ga et godt grunnlag for modelleringen og det ble valgt å benytte disse i modellene. Temperaturen synker med om lag 0,5 °C for hver hundrede meters stigning (Store norske leksikon 2015) og med stigende breddegrad. Dette gjør at disse faktorene er mye brukt i stedet for klimavariabler. Effekten av økende høyde over havet og breddegrad er negativ og samsvarer godt med funnene til Høibø & Vestøl (2010). Aanerød (2014) fant også en negativ effekt av høyde over havet og breddegrad på densitet, e-modul og bøyefasthet. I forbindelse med klima kan det være stabilitet som er viktigst for treet. Store temperatur svingninger gjennom året kan føre til at treet starter veksten for tidlig eller avslutter for sent. Slike tilfeller vil sette treet i fare for frost.

Siden effekten av høyde over havet og breddegrad er så konsekvent, er det liten grunn til å tro at det er en feil i datasettet, men heller at klimadataene ikke er like egnede til formålet. Dette kan likevel være en utvalgseffekt da breddegrad og høyde over havet var kjent under utvelgelsen, mens klima ikke var kjent. Som Wilhelmsson et al. (2002) påpekte, er det knyttet usikkerhet til hvorvidt den beregnede temperatursummen for et område stemmer overens med forholdene under hele trets levetid. Det er derfor sannsynlig at det forekommer en grad av overestimering eller underestimering av vokseforholdene gjennom et helt livsløp med tilhørende komplikasjoner i analysene. Der det er mulig er det derfor ønskelig å kunne benytte reelle temperatursummer, eller i det minste korrigere for år under eller over normalen på landsbasis.

Ericson et al. (1973) forsøkte å forklare tørr densitet i furu (*Pinus sylvestris*) ved hjelp av lineære modeller med høyde over havet, diameter, og antall årringer i brysthøyde som forklaringsvariabler. De fant en negativ effekt av både høyde over havet og diameter i brysthøyde, samtidig var ikke raskt voksende eller unge trær representert i datamaterialet. Selv om densitetsvariasjonen er større i furu enn i gran, var det ikke uventet å finne den samme effekten av årringbredde og høyde over havet på densitet i gran. Trær som vokser i bestand har lett for å miste lystilgang og etter hvert også tilgang på næring. Resultatet blir at treet stagnerer og veksten avtar i de siste årringene. Resultatet blir at relativt mange årringer kan utgjøre en særdeles liten del av stammen og dermed føre til feil i modellene. Et alternativ for å kontre dette kan være å benytte husholdningsalder, eller å benytte metoden fra denne

studien. Å benytte kortere perioder enn hele livsløpet minimerer sjansen for at den siste vekst perioden skal påvirke resultatene i en eller annen retning.

4.7 Om modellene og anvendelse

Årringbredde alene er ikke nok til å forklare eller predikere trelastegenskapene i dette datamaterialet.. Likevel er det en forklaringsvariabel som satt sammen med andre bestands- og tre-faktorer kan brukes i dette øyemed. Av de testede variablene i denne undersøkelsen er det likevel årringbredde som har gitt høyest F-verdi i sluttmodellene. Derfor er det avgjørende at studier på trevirkesegenskaper tar hensyn til årligvekst.

Modellene inneholder fremdeles mye uforklart variasjon og det kreves derfor mer forskning på temaet. Tendensene er likevel klare, gode vokseforhold i kombinasjon med lav vekst gir gode egenskaper. Dermed er det sannsynlig at undertrykte trær også er de som gir den sterkeste trelasten i bestandet. Dette kan utnyttes gjennom høytynninger. Handler & Jacobsen (1986) fremmet at undertrykte grantrær godt kan begynne å vokse igjen etter fristilling. Siden slike trær har liten barmasse, tar det tid før tilveksten øker (Handler & Jacobsen (1986)). Det er større sannsynlighet for at rotstokken på slike trær er kvistfri og kvistene ellers er små. Mye tyder på at disse trærne vil kunne produsere trelast av svært høy kvalitet. Merk at modellene i denne rapporten viser variasjon mellom trær og ikke plank. Dette fjerner en del variasjon og fører trolig til at R^2 -verdiene blir noe høyere enn om det hadde datamaterialet hadde vært sortert etter plank. På bakgrunn av dette er modellene i denne studien ikke egnet styrkesortering, men heller for å indikere hvilke trær og bestand som har størst potensiale for høy densitet, e-modul og bøyefasthet.

Gjennom skogskjøtsel kan vi styre vekst og utvikling gjennom treets liv og dermed også påvirke egenskapene til trelasten. Dette åpner for flere muligheter hva materialet angår og det kan være en god måte for skogeiere å få frem et godt produkt. Modellene for densitet, e-modul og bøyefasthet, figur 29, 24 og 29, er alene ikke gode nok til å gjøre dette nøyaktig med R^2 på henholdsvis 0,39, 0,40 og 0,45. Modellene viser likevel hvilken betydning skogbehandling kan ha, avhengig av hvordan man tynner og avstandsregulerer. Korrelasjonen mellom årringbredde, antall årringer og genetisk variasjon kan kanskje brukes til å redusere feil i prediksjonene, ved at nye modeller lages (Wilhelmsson et al. 2002). Spesielt genetikk er fremdeles et interessant felt og må trolig stå for mye av egenskapene i gran. Det meste av tømmeret som hogges fremover vil, for gran, være fra kulturskog som er plantet. Dette innebærer foredlet plantemateriale fra planteskoler. Det er derfor mulig at variasjonen kan bli

mindre i fremtiden. I tillegg er det sannsynlig at modeller som tar mer hensyn til kvist eller krone kan forbedre modellene.

5.0 Konklusjon

Det er klare effekter av årringbredde og bonitet på både e-modul, bøyefasthet og densitet. Effekten av årringbredde er negativ, mens tilleggseffekten av bonitet er positiv. Årringprofilene fra hvert bestand gav et godt bilde på bestandets vekst gjennom dets liv. Alle bestandene hadde lav, men økende vekst de første årene av livet. Bestandene med god bonitet hadde større variasjon i årringbredde, både fra et år til et annet og i livsløpet, enn bestandene med lavere bonitet.

Årringbredde er viktig for egenskapene til trelasten. Effekten av klima ser ut til å være bedre forklart gjennom breddegrad og høyde over havet enn av de tre temperaturvariablene som er benyttet i denne studien. Temperatur i en modell med årringbredde var likevel positivt korrelert med både densitet, e-modul og bøyefasthet da breddegrad, energigradtall sum for bøyefasthet, mens månedlig gjennomsnittstemperatur var best for densitet og e-modul.

I alle tilfellene ga et lenger intervall høyere signifikans enn korte intervall. For prøveområdene i denne studien er det dermed ikke de første årene som er de kritiske, men heller en lenger periode med vedvarende veksthastighet. Rask vekst de først årene vil likevel heve den gjennomsnittlige årringbredden i hele perioden. Kortere omløp blir derfor mer påvirket enn lange omløp. Et kortere årringintervall er viktig for egenskapene på høye boniteter sett i forhold til på lave boniteter. Sammenhengen mellom årringbredde og e-modul og bøyefasthet er ikke like klar som sammenhengen mellom densitet og årringbredde.

Denne studien har vist at gode boniteter kan produsere trevirke med bedre egenskaper enn lave boniteter, forutsatt at årringbredden er den samme for begge. Saktevoksende trær på gode boniteter har gode forutsetninger for høy densitet, bøyefasthet og e-modul.

Litteratur

- Aanerød, R.S. (2014). *Modeling density and Mechanical properties in Norway Spruce (Picea abies(L.) Karst) by forest inventory Data*. Masteroppgave, Ås. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for naturforvaltning. 49 s.
- Andersson, S., Serimaa, R., Torkkeli, M., Paakkari, T., Saranpää, P. & Pesonen, E. (2000). Mikrofibril angle of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) compression wood: comparison of measuring Techniques. *Journal of Wood Science*, 46(5): s. 343 - 349.
- Bramming, J., Øvrum, A. & Sandland, K. M. (2006). Fysiske og mekaniske egenskaper hos norsk gran og furu – En aktivitet i SSFF-prosjektet. *Rapport nr 65*: Norsk treteknisk institutt.
- Brannstrom, M., Oja, J. & Gronlund, A. (2007). Predicting board strength by X-ray scanning of logs: The impact of different measurement concepts. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(1): s. 60-70.
- Danborg, F. (1994). Density Variations and Demarcation of the Juvenile Wood in Norway spruce. *Forskningsserien nr. 10-1994*, Forskningscenteret for Skov & Landskap, Lyngby, Danmark. 78 s.
- Ericson, B. (1960). Studies of the genetical wood density variation in Scots pine and Norway spruce. Stockholm, Royal College of Forestry. Rapport 4, 52 s.
- Ericson, B., Johnson, T. & Persson, A. (1973). Ved og sulfatmasse från tall i orørda bestånd. Skoghögskolan, Instituionen för skogproduktion. Rapporter og uppsatser 25, 143 s.
- Ferwell, A. R. (1982). Machine stress grading of timber in the United Kingdom. *Holz als Roh-und werkstoff*, 40(12): s. 455-459
- Fjeld, L. (2012). *Modeling MOR in Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) structural lumber with stand and tree characteristics*. Master. Ås: Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, Institutt for naturforvaltning.
- Handler, M. M. & Jacobsen, B. (1986). Nyere danske planteafstandsforsøg med rødgran. *Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark.*, 40(4): s. 363-442.
- Han, W. og Toverød, W. (1994). Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet. Rapport 23. Oslo, Norsk Treteknisk institutt. 25 s.
- Hovda, T. Å. og Nygaard, E. A. (2007). Kvistegenskaper i furu (*pinus sylvestris* (L.)) fra ulike tynningsregimer. Masteroppgave, Ås. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for naturforvaltning. 35 s.
- Høibø, O. (1991). *Virkeskvaliteten til gran (Picea abiel (L.) Karst.) plantet med forskjellig avstand*. Doktoravhandling. Ås: Norges landbrukshøgskole, institutt for skogfag.

- Høibø, O. & Vestøl, G. I. (2010). Modelling the variation in modulus of elasticity and modulus of rupture of scots pine round timber. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(4): s. 668-678.
- Høibø, O., Vestøl, G. I., Fischer, C., Fjeld, L. & Øvrum, A. (2014). Bending properties and strength grading of Norway spruce: variation within and between stands. *Canadian Journal of Forest Research* 44: 128-135.
- Hågvar, S. & Tveite, B. (2011). Hvor gamle er de små undertrykte grantrærne? *Blyttia* 69: s. 153-156.
- International-Standard. (1975). *Wood – Determination of density for physical and mechanical tests*. International Standard ISO 3131.
- Jaakkola, T., Mäkinen, H. & Saranpää, P. (2005). Wood density in Norway spruce: Changes with thinning intensity and tree age. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: s. 1767-1778.
- Jaakkola, T., Mäkinen, H. & Saranpää, P. (2006). Wood density of Norway spruce: Responses to timing and intensity of first commercial thinning and fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 236: s. 513-521.
- Jappinen, A. & Beauregard, R. (2000). Comparing grade classification criteria for automatic sorting of Norway spruce saw logs. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15(4): s. 464-471.
- Klem, G. G. (1934). Untersuchungen über die Qualität des Fichtenholzes. Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvesen, 17: s. 197-333.
- King, G., Gugerli, F., Fonti, P. & Frank, D. (2013). Tree growth response along an elevational gradient: climate or genetics? *Oecologia*, 173(4).
- Kollmann, F. & Côte, A. (1968). *Principles of Wood Science and Technology*. Vol. 1, Springer-Verlag, Berlin 592 s.
- Koprowski, M. (2013). Spatial distribution of introduced Norway spruce growth in lowland Poland: The influence of changing climate and extreme weather events. *Quaternary International*, 283(0): s. 139-146.
- Langsæter, A. (1941). Om tynning i enaldret gran- og furuskog. *Meddelelser fra det norske Skogforsøksvesen* 8: s. 131-216.
- Larsson, D., Ohlsson, S., Perstorper, M. & Brundin, J. (1998). Mechanical properties of sawn timber from Norway spruce. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, 56(5): s. 331-338.
- Lei, Y. C., Zhang, S. Y. & Jiang, Z. (2005). Models for predicting lumber bending MOR and MOE based on tree and stand characteristics in black spruce. *Wood Science Technology*, 39: s. 37-47.

- Lindström, H. (1996). Basic density in Norway spruce. Part II. Predicted by stem taper, mean growth ring width, and factors related to crown development. *Wood and Fiber Science*, 28(2): s. 240-251.
- Madsen, T. L., Moltesen, P. & Olesen, P. O. (1978). The influence of thinning degree on basic density, production of dry matter, branch thickness and number of branches of Norway spruce. *Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark*. 40: s. 53-76.
- Mäkinen, H., Jaakkola, T., Piispanen, R. & Saranpää, P. (2007). Predicting wood and tracheid properties of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 241: s. 175-188.
- Nagoda, L. (1985). Styrkeegenskaper hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) fra Nord-Norge målt på trelast i hele dimensjoner. *Meddelelser fra Norsk Institutt for skogforskning*, 38(17): 31 s.
- Nordic-standard. (2009). *INSTA 142:2009 E. Nordic visual strength grading rules for timber*. Nordic Standardisation bodies in cooperation.
- Nylinder, M. (1990). Automatic Grading of Pine logs. Rapport no. 215. Dept. of For. Prod. Swedish Univ. Of Agri. Sci.
- Olesen, P. O. (1977). The variation of the basic density and tracheid width within the juvenile and mature wood of Norway spruce. *Forest Tree Improvement*, 12: 21 s.
- Olsson, A., Oscarsson, J., Johansson, M. & Kallsner, B. (2012). Prediction of timber bending strength on basis of bending stiffness and material homogeneity assessed from dynamic excitation. *Wood Science and Technology*, 46(4): s. 667-683.
- Pape, R. (1999). Influence of Thinning and Tree Diameter Class on the Development of Basic Density and Annual Ring Width in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14(1): s. 27-37.
- Persson, A. (1975). Wood and pulp of Norway spruce and Scots pine at various spacings. Stockholm, Royal College of Forestry, Department of forest yield Research.
- Ranta-Maunus, A. (2009). Strength of European timber. Part 1. Analysis of growth area based on existing test results. VTT, Espoo, Finland, Heftenr. 706: 105 s.
- Saranpää, P. (2003). Wood density and growth. *In Wood quality and its biological basis*. Revidert av J. R. Barnett og G. Jeronimidis. S. 87-117. Oxford, England, Blackwell Publishing Ltd., CRC Press.
- Stancioiu, P. T. & O'Hara, K. L. (2006). Regeneration growth in different light environments of mixed species, multiaged, mountainous forests of Romania. *European Journal of Forest Research*, 125(2): s. 151-162.
- Standard-Norge (2009). *Konstruksjonstrevirke*. Fasthetsklasser. Norsk Standard NS-EN 338:2009.

- Standard-Norge (2010a). *Trekonstruksjoner-Styrkesortert konstruksjonstrevirke med rektangulært tverrsnitt – Del 2: Maskinell sortering; Tilleggskrav for innledende typeprøving*. Norsk Standard NS-EN 14081-1.
- Standard-Norge (2010b). *Trekonstruksjoner. Konstruksjonstre og limtre. Bestemmelse av noen fysiske og mekaniske egenskaper*. Norsk Standard NS-EN 408:2010.
- Standard-Norge (2010c). *Konstruksjonsvirke. Bestemmelse av karakteristiske verdier for mekaniske egenskaper og densitet*. Norsk Standard NS-EN 384.
- Store norske leksikon. (2015) Lufttemperatur. <https://snl.no/lufttemperatur> Store norske leksikon (Lest 09.05.15).
- SSB. (2015). Skogavvirkning for salg, 2014, foreløpige tall. <http://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav> Statistisk sentralbyrå (Lest 18.02.15).
- Treteknisk. (2009). *Treteknisk håndbok*. Treteknisk håndbok, 4: Norsk treteknisk institutt.
- Vestøl, G. I., Høibø, O., Langsethagen, K. G., Skaug, E. og Skyrud, R. E. A. (2012). Variability of density and bending properties of *Picea abies* structural timber. *Wood Material Science and Engineering*, 7(2): s. 76-86.
- Vestøl, G. I., Høibø, O., Slotnæs, T. H. & Værnes, K. 2001. Egenskapene til trelast med store dimensjoner fra grov gran på Vestlandet. *Rapport fra skogforskningen*, 1/01: 27 s.
- Wessels, C. B., Malan, F. S., & Rypstra, T. (2011). A review of measurement methods used on standing trees for the prediction of some mechanical properties of timber. *European Journal of Forest Research*, 130(6), s. 881–893.
- Wilhelmsson, L. (2001). *Characterisation of wood properties for improved utilisation of Norway spruce and Scots pine*. Doktoravhandling, Sveriges lantbruksuniversitet, Upsala, Sverige.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spånberg, K., Lundqvist, S. O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. (2002). Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 17: s. 330-350.
- Øvrum, A. (2011). Tresterk (Trelast med høyere styrke og stivhet).



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no